Point de vue québécois sur l'intelligence artificielle

Richard Parent

Québec

85-3293/

Point de vue québécois sur l'intelligence artificielle

Richard Parent

PRESENTATION

A titre de directrice de la recherche au ministère des Communications du Québec, il me fait plaisir de présenter cette recherche, un fruit de la collaboration entre la Direction de la recherche et de la Faculté des sciences sociales de l'Université Laval, où Richard Parent a effectué cette recherche sur l'intelligence artificielle.

En plus de ses mérites propres, ce travail constitue à sa face même, un jalon important dans l'histoire de la collaboration entre le Ministère et l'Université. Ouvrage de prévision, ce travail explore un champ nouveau et fort peu balisé des technologies nouvelles. Utile aux gestionnaires désireux de connaître l'état de l'art en ce domaine, il peut l'être également aux professeurs et aux étudiants des sciences humaines qui décident d'appliquer leurs méthodes de travail à un objet nouveau.

Michèle Guay

Cette étude a été réalisée par Richard Parent. Né à Rivière-du-Loup en 1949, il a étudié en psychologie à l'Université de Moncton, puis à l'Université de Montréal où il a obtenu un doctorat (Ph.D.) en psychologie en 1979. Entré à l'emploi du ministère des Communications en 1976, il a effectué des recherches sur les médias communautaires avant de s'intéresser à la prospective en communication. Il a notamment réalisé l'étude "Les équipements de communication des ménages québécois à l'orée de la télématique" (1982). Depuis l'été 1983, ses services ont été prêtés par le Ministère à la Faculté des sciences sociales de l'Université Laval où il mène des activités d'enseignement et de recherche et où il participe au groupe de recherche sur l'informatisation de la société (GRIS). C'est au cours de sa première année à l'Université Laval qu'il a rédigé "Point de vue québécois sur l'intelligence artificielle".

© Gouvernement du Québec

Dépôt légal - 4e trimestre 1984

ISBN 2-550-11473-6

TABLE DES MATIERES

		Page
INTRODUCTION		5
CHAPITRE 1	QU'EST-CE QUE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE?	9
	A- Intelligence artificielle versus informatique	9
	B- Evolution historique	12
	C- Intelligence artificielle versus intelligence humaine	13
CHAPITRE 2	CONCEPTS, TECHNIQUES ET CHAMPS DE RECHERCHE	17
	A- Concepts fondamentaux	17
	B- Principales techniques	18
	1- Les procédures d'inférence	19
	2- La représentation du savoir	22
	C- Principaux champs de recherche	26
	1- Compréhension de la langue naturelle	27
	2- Perception	30
	3- Apprentissage	31
CHAPITRE 3	LES SYSTEMES EXPERTS	33
	A- Qu'est-ce qu'un système expert?	34
	B- Aperçu des systèmes experts existants	36
	C- Exigences et méthodes pour la construction des systèmes experts	40
	D- Faiblesses et promesses des systèmes experts	45
CHAPITRE 4	LES SYSTEMES DE TRAITEMENT LINGUISTIQUE	47
	A- Grandes notions de linguistique computationnelle.	47
	B- Interface personne-machine en langue naturelle	48
	C- Traduction automatique	51
	D- Reconnaissance de parole	52

Page

CHAPITRE 5 PORTRAIT INTERNATIONAL DE LA RECHERCHE-DEVELOPPEMENT. 53

A- Etats-Unis 53

B- Japon 56

C- Communauté économique européenne 58

D- Grande-Bretagne 60

E- France 61

F- Autres pays européens 63

CHAPITRE 6 RECHERCHE-DEVELOPPEMENT AU CANADA ET AU QUEBEC 65

A- Situation au Canada 65

B- Situation au Québec 69

CHAPITRE 7 BILAN STRATEGIQUE ET PROJET QUEBECOIS 81

A- Importance stratégique de l'intelligence artificielle 81

B- Réflexions en vue d'un projet québécois 84

C- Une hypothèse 86

CONCLUSION 89

REFERENCES 93

Annexe 1 Equivalences (anglais-français) de quelques termes spécialisés 99

Annexe 2 Liste descriptive de programmes d'intelligence artificielle par ordre alphabétique des sigles ou autres formes de nom abrégé 101

INTRODUCTION

L'intelligence artificielle est une notion encore contestée et souvent même l'objet de moqueries, et pourtant c'est le type d'approche que les Etats-Unis et le Japon sont en voie de privilégier comme un élément majeur dans leur planification à moyen terme de la recherche dans les sciences informatiques. Pourquoi? Ça peut sembler paradoxal, mais ce rapport montre qu'au contraire ce n'est pas étonnant.

Les premiers chapitres visent à combler un besoin d'information en décrivant la recherche en intelligence artificielle, et le développement récent d'applications comme les systèmes experts. Le lecteur pourra comprendre en quoi ces systèmes appliqués ont un potentiel de rentabilité propre à stimuler ce genre de recherche. Ensuite nous verrons ce qui se fait au Québec quant aux recherches en intelligence artificielle dans le contexte canadien et international, pour enfin suggérer des pistes pour un plan québécois de recherche-développement en intelligence artificielle.

L'intelligence artificielle a un passé mouvementé de promesses enthousiastes non tenues et de désillusions subséquentes. En dépit de son développement plus lent que prévu, un ensemble respectable de techniques et de concepts a été élaboré dans ce domaine. Les recherches en intelligence artificielle constituent un domaine de pointe en informatique, et sont en même temps à l'origine de beaucoup d'interrogations philosophiques sur la nature de l'homme et de nouvelles théories en psychologie sur l'intelligence humaine, l'apprentissage, le langage et la pensée, etc. Cette mise en relation de l'étude du traitement d'information par les humains et par les machines est particulièrement pertinente à plusieurs des choix de société liés à l'informatisation.

En attendant une définition plus complète de l'intelligence artificielle qui sera donnée au premier chapitre, on peut considérer qu'il s'agit d'un "ensemble de techniques utilisées pour essayer de réaliser des automates adoptant une démarche proche de la pensée humaine". (1) En fonction de cette définition, deux grands rôles de l'in-

telligence artificielle dans le processus d'informatisation peuvent être évoqués: un meilleur potentiel de communication entre la personne humaine et la machine, et un meilleur potentiel de combinaison de l'intelligence humaine et du savoir programmé des machines dans la résolution des problèmes.

Diverses critiques sont adressées aux ordinateurs: logique froide qui déshumanise, langages difficiles et peu naturels, les répercussions culturelles de ces "supercalculateurs idiots" sont parfois présentées comme inquiétantes. (2) Une machine défectueuse ou un programme qu'on n'arrive pas à faire fonctionner peuvent occasionner d'énormes pertes de temps et beaucoup de frustration et même des accès de colère. Et pourtant, les maniaques des jeux vidéo et même les programmeurs compulsifs ne manquent pas. Frude (3) et Simons (4) analysent comment les ordinateurs peuvent susciter une relation personnelle de la part des humains, sujets à une tendance psychologique animiste. Cet animisme consiste en l'attribution de vie et de conscience aux choses et, bien que plus fort chez les enfants de moins de six ans, il y a des traces de cet animisme chez un adulte en présence des marionnettes d'un spectacle par exemple. Le potentiel animiste de l'ordinateur a pu être constaté avec des programmes relativement peu raffinés comme le ELIZA de Weizenbaum (psychothérapeute rogérien dont l'approche est basée sur l'acceptation inconditionnelle d'autrui). Ce dernier fut d'ailleurs tellement choqué de voir que l'illusion de compréhension qu'offrait son programme suscitait tant de réactions émotives chez les gens qu'il s'est élevé contre des types d'usages de l'ordinateur qui en feraient un compagnon, une machine avec qui une personne pourrait être en relation intime: crainte que la sophistication technologique accrue ne réduise la centralité de l'espèce humaine dans notre vision du monde, que les systèmes artificiels deviennent intelligents et si attrayants qu'ils ne nous amènent à préférer le contact avec la machine plutôt qu'avec les autres humains. Il pose alors la question de savoir quels buts et objectifs humains il serait inapproprié de déléguer aux ordinateurs (5).

Il y a donc plusieurs réactions et perceptions possibles face au développement des capacités d'intelligence des ordinateurs: ils sont

parfois jugés omniscients par une partie du public qui exagère leurs capacités sur la base des représentations comme dans le film "La Guerre des Etoiles"; ils sont considérés comme non intelligents par d'autres qui se réfèrent à une définition de plus en plus étroite de l'intelligence à mesure que des progrès se font dans la programmation "intelligente" des machines. Comme l'électrification ou d'autres développements de systèmes socio-techniques majeurs, l'informatisation comporte donc des risques.

A l'opposé, elle peut être vue comme un moyen supplémentaire de libération, un moyen de découverte de soi, une approche réduisant la nécessité du travail dur, une opportunité pour les gens de déplacer leurs préoccupations vers ce qui est plus social et spirituel.

Quoi qu'il en soit, ces questions philosophiques concernent plutôt le très long terme et nous les avons abordées brièvement en introduction pour ne pas avoir à en parler plus loin. De façon plus modeste à court terme, le but de l'intelligence artificielle d'humaniser la machine, en la programmant de façon plus flexible et plus raffinée, est souhaitable pour diverses raisons (6):

- vérifier des théories psychologiques de performance humaine par la simulation sur ordinateur,
- permettre aux ordinateurs de comprendre le raisonnement humain, en vue d'en augmenter les applications pratiques,
- permettre aux gens de comprendre le raisonnement de l'ordinateur, qui doit pouvoir expliquer aux utilisateurs, dans leurs termes, comment il en est venu à une décision donnée et ainsi établir sa crédibilité,
- exploiter le savoir qui peut être obtenu des experts humains puisqu'ils sont meilleurs, dans la plupart des tâches étudiées en intelligence artificielle, que les ordinateurs avec leurs méthodes plus générales, plus "froides".

Seulement quelques références ont été accordées à l'intelligence artificielle dans le débat sur l'informatisation du Québec (2,7) et encore de façon plutôt indirecte. C'est un domaine d'étude apparemment mal connu. Le présent rapport vise à mieux faire comprendre en quoi consiste le domaine et pourquoi son étude est si importante pour les citoyens et leurs gouvernements en raison de l'intérêt public, pour l'université en raison du développement du savoir, et pour les industries en raison des opportunités de développer des produits et des services rentables.

CHAPITRE I

QU'EST-CE QUE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE?

Ce chapitre vise à décrire le domaine de recherche en intelligence artificielle. Le domaine sera délimité par rapport aux autres parties des sciences informatiques et par rapport au domaine de l'intelligence humaine, et les grandes étapes de l'évolution des recherches en intelligence artificielle seront présentées.

La recherche en intelligence artificielle a commencé à la suite des échecs dans les tentatives de programmation de beaucoup d'actions dont les humains sont capables. Ainsi, il est relativement facile de programmer des activités de calcul ou d'autres raisonnements explicites que les gens effectuent selon des méthodes qu'ils peuvent expliquer facilement. Mais beaucoup des actions humaines, comme jouer aux échecs ou tenir une conversation, peuvent difficilement être programmées parce qu'on ne sait pas trop comment expliquer ces compétences. Réalisant notre ignorance des étapes détaillées de la plupart des actions humaines intelligentes, des chercheurs ont ouvert un chantier de recherche interdisciplinaire qui devait adopter le vocable "intelligence artificielle" vers la fin des années soixante. (8) A la base donc, le champ couvert par l'intelligence artificielle comprend tous les domaines pour lesquels on ignore les mécanismes et les cheminements intellectuels employés dans l'exercice d'une certaine activité. Il est même possible de noter que c'est l'étude de la façon de faire faire aux ordinateurs ce que, pour le moment, les gens font mieux, et d'ajouter aussitôt que cet écart se réduit selon la rapidité du progrès de l'informatique (9). Mais d'autres définitions sont possibles du champ multiforme qu'est l'intelligence artificielle, par exemple qu'il s'agit de l'étude de l'intelligence à l'aide des idées et des méthodes de l'informatique (10).

A- Intelligence artificielle versus informatique

Cette dernière définition réintroduit la question de ce qui distingue l'intelligence artificielle du reste de l'informatique. L'infor-

matique traditionnelle serait limitée à des problèmes moins complexes avec sa programmation algorithmique, c'est-à-dire une programmation qui prévoit des instructions détaillées pour toutes les conditions prévisibles. Mais pour tous les problèmes plus complexes et où ce type de programmation est peu faisable en raison de l'explosion combinatoire (trop grand nombre des pistes de solution, par exemple les échecs), l'approche de l'intelligence artificielle permet une programmation plus flexible par le recours à des heuristiques qui permet une recherche de solution selon des voies prometteuses. On peut donc dire qu'avec l'intelligence artificielle, les programmes informatiques dépassent l'algorithmique strict pour adopter des méthodes heuristiques. Ce point est plus clair par la comparaison de ces deux définitions (11):

- algorithme: description du schéma de réalisation d'un événement à l'aide d'un répertoire fini d'actions élémentaires nommées, réalisables a priori et à durée limitée dans le temps.
- heuristique: technique de résolution de problèmes qui tient compte à chaque pas des résultats précédents et en déduit la stratégie à adopter par la suite.

En théorie, tout programme peut être écrit dans n'importe quel langage informatique. En pratique cependant, certains langages sont mieux adaptés à des types d'usages en fonction de la structure des données disponibles d'une part, et de la structure de contrôle désirée d'autre part. Les principaux langages d'intelligence artificielle sont le LISP et le PROLOG. Les caractéristiques propres à ces langages sont leurs bonnes capacités de manipuler des listes, de suspendre l'attribution de valeurs précises à des variables aussi tard que possible dans l'exécution, de mettre en correspondance des formes ("patterns"), de réaliser une sorte de déduction automatique, de construire des structures hiérarchiques complexes de données et de règles, de permettre une structure de contrôle orientée vers un but, et d'entrecroiser facilement les structures des données avec les structures de règles de toute manière appropriée à une tâche particulière. (12)

Il ne faut surtout pas croire que ces langages à inférence symbolique sont seuls capables de faire se comporter l'ordinateur de façon intelligente. Un programme écrit en COBOL pour préparer les horaires dans un CEGEP réalise une tâche intelligente. Il y a d'ailleurs un langage utilisé en intelligence artificielle, SAIL, qui est un dérivé d'un langage traditionnel, l'ALGOL, et qui est largement utilisé en reconnaissance de la parole. De même, les jeux d'échecs électroniques, commercialisés dès la fin des années soixante-dix, sont écrits dans des langages de programmation traditionnels même s'ils ont d'abord été développés dans la recherche au moyen des langages à inférence symbolique comme LISP.

La construction des théories en intelligence artificielle a été influencée par la cybernétique (science du contrôle) et ses notions d'auto-organisation, de stratégie optimale, de rétroaction et de buts. Mais l'hypothèse de base a été le mieux formulée par Newell et Simon (13): un système physique de symboles dispose des moyens nécessaires et suffisants pour la généralité des actions intelligentes. Un programme informatique est donc un système physique de symboles assemblés dans des expressions et des règles de transformation de ces expressions symboliques (création, modification, reproduction, destruction).

La vérification de cette hypothèse de Newell et Simon est en quelque sorte le paradigme ou cadre général de la recherche en intelligence artificielle: les tâches choisies sont considérées comme requérant de l'intelligence, et le but est de bâtir des programmes qui peuvent effectuer des tâches intelligemment accomplies par des personnes humaines. Même si de nombreux succès ont déjà été enregistrés en faveur de l'hypothèse, il est loin d'être sûr que des systèmes physiques de symboles peuvent simuler l'ensemble des capacités de l'intelligence humaine. Il n'est d'ailleurs pas nécessaire de prendre cette hypothèse au pied de la lettre pour justifier le genre de recherche auquel donne lieu l'intelligence artificielle. Une telle hypothèse théorique reste utile pour donner un sens global à l'effort de recherche visant à rendre les machines capables d'apprendre.

B- Evolution historique

Trois grandes périodes ont marqué l'évolution du paradigme des recherches sur l'apprentissage par les machines (14):

- une première période, allant des années quarante aux années soixante, a été marquée par un optimisme injustifié quant à la possibilité que l'ordinateur puisse s'auto-organiser en l'absence de structure initiale. Avec le système nerveux comme modèle, cette approche essayait de faire apprendre aux machines par des changements graduels dans les seuils requis pour qu'une transmission ait lieu entre des composantes électroniques. Outre des essais un peu naïfs de "perceptrons" et de "pandemoniums", cette approche a tout de même permis un développement intéressant dans le domaine de la reconnaissance de formes basée sur des décisions statistiques acquises à partir d'une série d'exemples d'entraînement.

- la seconde période, qui a commencé dans les années soixante, doit beaucoup au travail des psychologues sur les modèles d'apprentissage humain. Cette approche est centrée sur les systèmes physiques de symboles et permet d'utiliser les ordinateurs à des fins autres que numériques et statistiques, en particulier pour représenter des structures logiques opérant sur des expressions symboliques pouvant être hiérarchiquement conceptualisées. Mais cette croyance dans la capacité d'intelligence sur la seule base de grandes lois du raisonnement arrangées dans des stratégies très générales de résolution de problème devait s'avérer moins bien fondée que prévu.

- la troisième période, qui a émergé progressivement au cours des années soixante-dix, voit dans l'apprentissage un processus plus complexe. Par exemple, on ne peut pas s'attendre à ce qu'un programme apprenne des concepts de haut niveau d'abstraction sans aucune connaissance de départ. C'est ainsi que par rapport à la période antérieure, l'emphase s'est déplacée des lois générales de raisonnement vers le savoir spécifique et la façon d'utiliser ce savoir. Ce nouveau paradigme a conduit certaines recherches à étudier en profondeur des problèmes spécialisés dans un domaine et à intégrer dans le programme de grandes quantités de connaissances spécifiques au domaine. Ce dernier courant a donné lieu à d'imposants programmes qu'on a qualifiés de systèmes ex-

perts, et qui sont l'objet de notre troisième chapitre. Les deux grandes caractéristiques de ces systèmes experts sont de s'appuyer sur beaucoup de connaissances spécifiques et d'explorer une variété de méthodes de raisonnement et d'apprentissage (heuristiques) de façon adaptée à un type de problème.

C- Intelligence artificielle versus intelligence humaine

Les efforts d'ensemble de la recherche en intelligence artificielle concernent donc le rapport entre l'intelligence humaine et celle qui peut être transférée à la machine. Bien qu'en simulant le comportement humain on parvient à mieux le comprendre, la question de la simulation exacte n'est pas critique en soi. Ce qui compte surtout, c'est d'avoir un bon modèle des processus impliqués dans le raisonnement intelligent de façon à constituer une nouvelle science cognitive aux confins de la psychologie, de la linguistique et de l'informatique (15) et de plusieurs autres disciplines.

D'ailleurs, il n'est pas si important de se demander si la machine peut être intelligente dans son essence même, ou du moins cette question peut être confiée à des philosophes. La question critique est celle du comportement de la machine, qui doit être tel qu'on puisse le considérer comme intelligent, i.e. qu'on le juge comme une manifestation d'intelligence quand un comportement semblable est observé chez un humain. Turing fut le premier à définir cette position. Passant ainsi outre aux questions philosophiques, la question posée en intelligence artificielle est: comment l'humain peut-il rendre la machine plus intelligente? jusqu'où peut-il lui transmettre son savoir, ses heuristiques, ses structures mentales dans un système programmé en langage compréhensible par la machine?

Les sciences modernes ont une meilleure compréhension de l'intelligence artificielle que de celle des humains. En effet l'intelligence artificielle reste entièrement contrôlée par un ensemble logique, tandis que la logique n'est qu'un des axes de fonctionnement de l'intelligence humaine, qui est soumise à un être de chair et d'émotions

et doté de volonté. En conséquence, la machine n'a qu'une sélectivité contrôlée par des règles ou des buts d'un bas niveau d'abstraction et dans une logique sans rupture. Quant à l'humain, il est capable d'une sélectivité naturelle d'un très haut niveau d'abstraction et dans une logique où des ruptures interviennent sous forme d'oublis sélectifs, d'erreurs, de valorisations, toutes choses pouvant être liées à l'instinct de conservation ou au besoin d'actualisation. L'intelligence humaine a donc l'avantage de la généralité de vue et de la perception globale de ce qui est pertinent dans un milieu en changement (16). L'ordinateur ne contient en fait que de l'intelligence humaine incarnée sous forme de programmes qui permettent une vitesse et une complexité de recombinaison supérieures à celles de l'humain, mais dans un contexte défini plus étroitement.

Toutefois, l'intelligence humaine elle-même n'est pas omnisciente ni omnipuissante. D'abord, elle s'appuie sur des structures mentales élémentaires du type de celles que Piaget a identifiées (17), et la langue maternelle elle-même n'est apprise si vite par les enfants que parce qu'il y a une structure mentale appropriée à cette fonction de support et qui serait inscrite dans le bagage génétique. Cela pour dire que la pensée elle-même s'articule à partir de codes organisés en structures communes à la plupart des "homo sapiens". Or selon la définition du code d'Umberto Eco (18), un code est efficace parce qu'il réduit l'information contenue dans ce qui est représenté et permet ainsi sa communication. Une partie au moins de notre vie mentale est donc codifiée, de façon analogue au codage dans l'ordinateur. De plus, une partie de notre vie mentale échappe à notre être volontaire, à la conscience de notre raison. C'est le cas du rêve éveillé, de la vie mentale durant le sommeil, et ce pourrait être le cas des notions d'archétypes et d'inconscient personnel de Jung (19).

Les liens entre l'intelligence humaine et l'intelligence artificielle ne datent pas de l'ordinateur. La rondeur de la roue ou le tranchant d'un objet dur sont des actualisations très anciennes de l'intelligence humaine dans la technique. Le différenciel et l'alternateur dans une automobile sont des produits beaucoup plus complexes de

notre intelligence, mais cela n'en fait pas de l'intelligence artificielle, ce terme étant réservé aux machines automatiques (actuellement la microélectronique surtout) programmées pour effectuer du traitement symbolique avec une autonomie croissante grâce à une certaine capacité d'apprentissage.

Se demandant "pourquoi les machines devraient-elles apprendre?", Simon (20) avance deux raisons: que l'apprentissage humain est "horriblement lent", et que ce qui a été appris par une machine peut être "enseigné" à une autre en une fraction du temps que le même processus prend pour un humain. Il ajoute que la lenteur de l'apprentissage humain s'explique peut-être par le temps requis pour ajuster graduellement la grande variété des "programmes" déjà acquis. Il met cette limite en relation avec les difficultés à faire évoluer les systèmes informatiques vastes quand les interactions croissantes entre leurs parties rendent de plus en plus difficile un changement local qu'on peut vouloir faire. Il conclut que si les machines ne peuvent pas en venir à apprendre plus vite que les humains, du moins leur savoir peut-il être reproduit plus facilement et rapidement.

L'objet étudié en intelligence artificielle peut donc être conçu comme le problème de l'apprentissage par la machine (21), qui comporte trois approches de recherche:

- les études axées sur l'amélioration de la performance d'un programme dans une tâche d'un domaine donné comme la biologie moléculaire,
- les études et la simulation par ordinateur des processus humains d'apprentissage,
- l'exploration théorique de l'espace des méthodes possibles d'apprentissage et des algorithmes indépendamment des domaines d'application.

Ces trois approches de recherche sont très liés et constituent un champ de fertilisation par croisement. L'apprentissage par les machines est une nécessité pratique à l'heure de l'informatisation en raison de la programmation qui deviendrait trop lourde autrement. Et il est dési-

rable d'apprendre aux machines à fonctionner de façon semblable à l'intelligence humaine à cause de la nécessité d'interaction entre les deux.

Boden (22) a bien observé comment la notion d'intelligence artificielle est souvent perçue comme un spectre menaçant pour l'identité de l'être humain. Elle pense qu'au contraire il s'agit d'un moyen de contrer l'effet déshumanisant des sciences physiques en montrant jusqu'à quel point l'être humain est un être psychologique matérialisé mais non réductible à une machine: les limites rencontrées en intelligence artificielle mettent en relief notre nature d'êtres subjectifs vivant en partie dans leurs propres constructions mentales de la réalité.

CHAPITRE 2

CONCEPTS, TECHNIQUES ET CHAMPS DE RECHERCHE

Ce chapitre se divise en trois parties. Nous verrons d'abord quels sont les principaux concepts qui structurent la recherche en intelligence artificielle, puis quelles sont les techniques qui ont été développées pour actualiser ces concepts dans l'opération de l'ordinateur, et enfin quels sont les principaux champs de recherche en intelligence artificielle.

A- Concepts fondamentaux

Nous avons déjà vu l'hypothèse de base en intelligence artificielle qui veut que les systèmes physiques de symboles puissent avoir tous les moyens nécessaires et suffisants pour l'action intelligente. Ces symboles peuvent être encodés au moyen d'éléments électroniques dans l'ordinateur grâce à des langages spécialisés dans divers types de structures de données (tableau, liste). Ces langages sont également dotés de moyens pour manipuler les symboles, soit au premier chef la logique des prédicats qui permet la formulation de structures de symboles pouvant exprimer l'équivalence, la transitivité, l'universalité, etc., et qui constitue un moyen privilégié de faire des inférences au moyen de ces fonctions primitives dont les résultats sont essentiellement logiques et donc faciles à interpréter (23).

Ce formalisme de structures symboliques doit répondre à deux ordres d'exigences: la façon de représenter le savoir pertinent, et la façon dont le programme raisonnera avec ce savoir. Ces deux aspects interagissent fortement: le choix d'une méthode de représentation a des implications importantes sur le choix des méthodes de raisonnement qui peuvent être utilisées.

Différentes techniques développées dans les recherches en intelligence artificielle peuvent être utilisées pour résoudre les difficultés dans l'élaboration d'un programme informatique simulant une manifes-

tation quelconque de l'intelligence humaine. Les traits communs visés dans l'ensemble de ces techniques d'intelligence artificielle sont de contribuer à la capacité de généralisation dans les représentations pour alléger la mémoire et le raisonnement (ou "itérations logiques") de l'ordinateur. Il s'agit aussi pour le système programmé de pouvoir être compris par les personnes qui s'en servent, de pouvoir être corrigé aisément à l'aide d'automatismes inscrits dans le programme, d'avoir de la souplesse afin de pouvoir être utilisé dans des situations aussi variées que possible, et d'avoir des capacités pour réduire l'étendue des possibilités à considérer dans le processus de résolution d'un problème (24).

Ceci nous amène à une notion importante en intelligence artificielle qui est de définir un problème comme un espace comprenant le graphe des cheminements possibles pour parvenir à une solution. Le raisonnement du système peut alors s'effectuer comme une recherche dans l'espace des solutions qui satisfont un but. Cet espace comprend des noeuds représentant des états des variables du problème et des arcs entre ces noeuds qui représentent des transformations de symboles permettant de passer d'un noeud à un autre.

L'exécution d'une "recherche" dans l'espace du problème avec un ordinateur est un corps-à-corps constant avec l'explosion combinatoire qui résulte de toute recherche systématique dans un espace multidimensionnel où les possibilités croissent de façon géométrique.

B- Principales techniques

La présentation des principales techniques utilisées en intelligence artificielle constitue un approfondissement des concepts que nous venons de présenter. Nous procédons avec une synthèse d'une bonne partie des chapitres deux à huit du manuel d'Elaine Rich, Artificial Intelligence (25). Cette matière vaste et complexe sera présentée de façon simplifiée. Suivant la démarche du volume, nous allons passer en revue deux sujets de recherche fondamentale en intelligence artificielle: les procédures d'inférence, et la représentation du savoir.

1- Les procédures d'inférence

Les procédures d'inférence désignent les divers types de chaînage logique pouvant servir au raisonnement: déduction à partir de prémisses ou lois générales, induction par généralisation à partir de faits observés, etc. On se rappellera que l'intelligence artificielle s'attaque à la programmation des problèmes où le raisonnement n'est pas complètement définissable a priori. La recherche dans ce domaine a donc porté sur des procédures générales d'inférence permettant de résoudre diverses sortes de problèmes.

Les recherches en résolution de problème ont porté sur des problèmes simples (tic-tac-toc) ou plus complexes (jeu d'échecs). La démarche essentielle est de commencer par définir le problème en créant une description formelle et manipulable du problème lui-même: spécifier l'espace du problème, les états initiaux (termes du problème à résoudre) et les états finals (solutions) qui sont possibles, ainsi que les opérateurs qui décrivent les actions disponibles de déplacement entre les états (ou noeuds) du problème. Ces opérateurs sont des règles de forme "si... alors", c'est-à-dire que si les conditions spécifiées sont satisfaites, alors telle transformation symbolique peut être effectuée.

Cet ensemble de règles sera couplé à divers mécanismes de chaînage qui seront déterminés d'après les caractéristiques des problèmes auxquels ils doivent s'appliquer: le problème peut-il être décomposé en sous-problèmes moins difficiles? est-il possible ou non de revenir à une étape antérieure au cours du processus de résolution? est-ce une situation avec un adversaire ou non? n'y a-t-il qu'une bonne solution ou plusieurs possibles? l'interaction entre l'ordinateur et une personne est-elle requise en cours de résolution? etc.

La procédure d'inférence dépend aussi d'un second groupe de règles constituant une stratégie de contrôle dont le rôle est d'assurer l'efficacité dans l'exploration systématique de l'espace du problème. Le recours à l'ordinateur vise justement à exploiter sa vitesse permettant une exploration systématique. Cependant même les ordinateurs

les plus rapides ne peuvent y parvenir dans beaucoup de problèmes, comme dans le jeu d'échecs par exemple, à cause de l'explosion combinatoire que provoque une exploration absolument systématique.

La stratégie de contrôle doit donc incorporer des heuristiques. Une heuristique (du grec "heuriskein", découvrir) est toute technique qui améliore l'efficacité d'une recherche en réduisant l'espace du problème. Il y a des heuristiques d'application générale et d'autres, plus spécialisées, qui font appel aux connaissances propres à un domaine. Nous reviendrons sur les heuristiques spécialisées au troisième chapitre.

Les heuristiques d'application générale dépendent en partie des caractéristiques du problème comme nous l'avons déjà mentionné. Celles-ci aideront à décider si le chaînage doit se faire vers l'aval (ou vers l'avant, c'est-à-dire en partant des données du problème, les états initiaux) ou vers l'amont (vers l'arrière, c'est-à-dire en partant des solutions possibles, les états finals); ou si la représentation en graphe convient mieux qu'en arbre pour éviter la redondance entre branches; ou le mode de traitement des "cadres" pour emmagasiner efficacement non seulement l'information qui varie mais aussi celle qui est constante; ou le mode de sélection des règles applicables à partir d'un état du problème que ce soit par indexation, équivalence des variables, approximation d'équivalences plus ou moins complexes, ou filtrages à la source dans la recherche d'équivalence.

Ces heuristiques d'application générale sont aussi appelées les "méthodes faibles" parce qu'elles opèrent rarement seules. Elles peuvent être décrites indépendamment d'un contexte. En effet, leur utilité dépend généralement du fait qu'elles sont combinées à des heuristiques spécialisées au domaine du problème. Ces méthodes faibles sont donc des stratégies de contrôle du chaînage réalisé dans un espace de problème.

PRINCIPALES HEURISTIQUES GENERALES

1- Génère et teste: essaie tous les chaînages possibles un à un jusqu'au bout selon un principe de profondeur d'abord. La façon la plus simple, et la plus sujette à l'explosion combinatoire;

2- Escalade: variante de la précédente, c'est-à-dire en profondeur d'abord, mais avec un test renvoyant une mesure du rapprochement de l'état atteint à l'état visé (solution); soumis à des culs-de-sacs possibles (maximum local: position qui n'est pas une solution mais d'où un meilleur état ne peut être atteint);

3- En étendue d'abord: examen de tous les noeuds d'un niveau avant de poursuivre sur les pistes de solution avec tous les noeuds du niveau suivant, etc.;

4- Le meilleur d'abord: combine alternativement des chaînages en étendue d'abord et en profondeur d'abord selon le meilleur noeud à chaque étape parmi les mesures de rapprochement avec l'état visé; dans les problèmes où de telles mesures ne sont pas disponibles, le principe du meilleur d'abord peut se traduire par le recours à un agenda des voies prometteuses avec des raisons pour les faire et des pondérations associées.

5- La décomposition des problèmes: dans les problèmes qui peuvent être décomposés en sous-problèmes, des graphes ET-OU sont utilisés pour mémoriser les combinaisons essentielles de sous-problèmes devant être résolus pour arriver à la solution d'ensemble.

6- La satisfaction des contraintes: dans un problème décomposé en sous-problèmes, évolution dynamique de l'espace du problème en fonction de contraintes qui sont lâches au début et qui augmentent à mesure que le chaînage progresse vers la solution et que plus de précisions deviennent requises dans les différents sous-problèmes.

7- L'analyse moyens-fins: alors que les autres méthodes ci-haut devaient choisir d'enchaîner soit vers l'amont, soit vers l'aval, l'analyse moyens-fins peut procéder dans les deux directions selon ce qui permet de réduire le plus la différence entre l'état visé et l'état atteint. Cette différence peut être évaluée en fonction de divers sous-problèmes avec des poids différenciés reflétant leur importance dans l'ensemble du processus de résolution de problème. Cela rend possible la résolution des sous-problèmes les plus importants d'abord, puis en recollant ensemble ces gros morceaux pour arriver à la solution, une précision accrue est apportée aux décisions locales antérieures.

L'usage de ces différentes méthodes vise à limiter la recherche à une partie seulement de l'espace virtuel du problème de façon à empêcher l'explosion combinatoire qui vient avec la recherche systématique si elle est exhaustive. Les limites inhérentes à ces méthodes faibles font qu'en pratique il est difficile de maintenir la qualité de la solution avec ces heuristiques. La recherche se voit forcée d'optimiser entre une stratégie de contrôle plus détaillée qui est bonne en moyenne mais peut être lente dans des cas extrêmes, et une autre stratégie de contrôle plus approximative et qui produit des réponses acceptables en un temps raisonnable, mais où l'exigence sur la qualité de la solution devra être réduite pour empêcher l'explosion combinatoire.

Le jeu (ex.: échecs) est une situation spéciale pour la résolution de problèmes. Chaque adversaire ne prenant que la moitié des décisions, la procédure dite de minimax est mise en oeuvre. Ce terme désigne le fait que chaque joueur essaie en alternance de maximiser sa position tandis que son adversaire essaiera de la minimiser. Ces suppositions sont intégrées à l'évaluation des états suivants possibles par rapport à un état visé (ex.: échec et mat!). Les résultats de ces évaluations peuvent aussi être utilisés pour émonder alternativement des noeuds moins prometteurs en maximisant la position d'un joueur quand il joue, et en minimisant sa position quand c'est à son adversaire de jouer.

2- La représentation du savoir

Les techniques d'intelligence artificielle que nous venons de passer en revue se concentrent sur la façon de manipuler le savoir dans les procédures de recherche automatisées. Nous avons noté que ces heuristiques générales ont une certaine faiblesse due à leur généralité.

Nous allons maintenant voir comment le savoir qu'elles manipulent peut être représenté formellement pour leur conférer une puissance plus grande dans la recherche de solutions. La représentation du savoir pose le problème de la mise en correspondance entre des faits et leur représentation formelle dans un programme. Il y a différentes façons d'éta

blir cette mise en correspondance entre les faits habituellement exprimés en langue naturelle (français, anglais, etc.) et les représentations internes de ces faits sous forme manipulable dans le programme.

Le langage de la logique est une façon de représenter les faits qui est avantageuse parce qu'il apporte avec lui des procédures de déduction bien définies permettant de dériver du savoir nouveau à partir de ce qui est disponible. La logique propositionnelle et la logique des prédicats permettent d'exprimer certains faits du monde réel en "formules bien formées". Ces formules imposent toutefois des limites à la complexité de ce qui peut être représenté et du raisonnement qui peut être effectué avec ce savoir. Le savoir ainsi représenté en formules logiques permet de répondre à des questions "oui-non" et "remplir les espaces vides" qui seraient posées au programme. En pratique, les phrases en langue naturelle comportent beaucoup d'ambiguïtés quand on les traduit en formules logiques (parce qu'elles contiennent trop de sens), et il est nécessaire de faire des choix de représentation en fonction de l'usage prévu (ex.: type de questions). De toute façon, la conversion des faits sous forme logique occasionne une perte d'information (choix parmi les sens) pouvant avoir une valeur heuristique. Ceci oblige au recours à d'autres logiques pour manipuler le savoir, ainsi qu'à d'autres structures de représentation du savoir afin de minimiser la perte de sens, de ce qui a une signification essentielle à l'action intelligente.

Ainsi, une bonne partie du raisonnement humain s'appuie sur des croyances basées sur des informations incomplètes, incertaines ou floues. Une forme de raisonnement "par défaut" permet de faire des hypothèses tenues pour vraies tant qu'il n'y a pas d'information contradictoire. Si une information contradictoire survient, la croyance qui s'appuyait sur un raisonnement par défaut doit être abandonnée, ainsi que d'autres croyances qui ont pu en être dérivées. Dans un programme, des faits peuvent être représentés avec leurs justifications. Ces justifications peuvent alors être modifiées pour maintenir la cohérence dans l'ensemble des croyances et des faits représentés dans le programme. Etant donné qu'il est fréquent que toute l'information requise pour

un raisonnement ne soit pas disponible, le raisonnement par défaut est une technique souvent nécessaire.

Il y a beaucoup de situations où le savoir n'est pas certain, mais seulement probable, et qu'il doive être utilisé quand même (ex.: bridge, diagnostic médical). Le raisonnement peut alors s'appuyer sur des estimés de probabilité dont le calcul est plus ou moins sophistiqué, pouvant par exemple pour chaque hypothèse combiner une mesure de doute et une mesure de croyance en un facteur global de certitude (ou vraisemblance) intégrant la variété des faits et des croyances convergentes et contradictoires.

Nous avons noté que les formalismes logiques se prêtent bien au raisonnement, mais que les représentations du monde qu'ils permettent sont limitées. Pour représenter l'information plus complexe liée à des problèmes réels, il faut recourir à des structures plus élaborées et plus adéquates pour refléter la complexité des structures existant dans le monde réel. Quatre types de schémas sont principalement utilisés pour ces représentations plus complexes.

Ces divers schémas sont utilisés pour tirer partie du fait que le monde réel est ordonné de diverses manières (ex.: physique, architecture, psychologie). En décrivant des hiérarchies d'objets où les propriétés sont attribuées au niveau le plus général, la concision est possible sans perte d'information grâce aux règles de transitivité qui rendent disponibles les relations indirectes sans qu'elles aient à être explicitées.

PRINCIPAUX SCHEMAS DE REPRESENTATION DU SAVOIR

- Réseau sémantique: les mots de la langue naturelle sont représentés par des noeuds, et les liens entre noeuds sont étiquetés en fonction de la relation entre deux noeuds (ex.: <chaise> et <brune> reliés par <couleur>). Les règles d'inférence peuvent alors profiter des types spécifiques de relation présents dans le réseau;

- Dépendance conceptuelle: structures abstraites bâties avec des primitives pour représenter les phrases de la langue naturelle d'une façon qui favorise les inférences, en privilégiant les relations parmi les composantes d'une action. Les primitives peuvent être des actions comme le transfert de lieu physique d'un objet, l'application d'une force physique à un objet, la saisie d'un objet par un acteur, etc. Les primitives sont des concepts pouvant être combinés pour recréer les sens des mots d'une langue, en théorie du moins.

- Cadre: description de la structure d'une classe d'objets contenant divers champs qui correspondent aux aspects importants d'un objet de cette classe. Un champ peut contenir les conditions requises et même des procédures de calcul relatives à ces conditions. Un cadre se distingue d'un réseau sémantique par sa propriété de faciliter la représentation et la manipulation des traits communs à plusieurs objets.

- Scénario: structure de représentation de séquences stéréotypées d'événements dans un contexte particulier (ex.: aller au restaurant), une sorte d'enchaînement causal contenant des objets, rôles, scènes et variations typiques sous forme de champs, instaurant ainsi des attentes quant au déroulement d'événements.

Les diverses techniques d'intelligence artificielle brièvement présentées dans ce chapitre ont en commun de chercher à éviter l'explosion combinatoire tout en maintenant le caractère systématique de la recherche dans l'espace du problème. Ces diverses techniques sont combinées dans des programmes auxquels on essaie de conférer la capacité de se comporter de façon "intelligente" dans la résolution de problèmes. Quand les problèmes sont plus complexes, le programme s'attaque généralement à des sous-problèmes en fonction d'un système de planification doté d'un mécanisme d'agenda des tâches à exécuter selon divers niveaux hiérarchisés.

La recherche en intelligence artificielle a comme objectif dominant de faire acquérir du savoir à un programme d'ordinateur. Ceci comprend l'apprentissage de nouvelles informations symboliques et la capacité de manipuler et d'appliquer ces informations de manière efficace. En passant en revue les techniques d'intelligence artificielle nous avons examiné en quelque sorte une façon de classifier les recherches du domaine en fonction de la représentation du savoir et de ses modes de manipulation. Un autre mode de classification est par les principaux champs de recherche, ce qui est l'objet de la dernière partie de ce chapitre.

C- Principaux champs de recherche

L'intelligence artificielle est un domaine de recherche dynamique quant à ses domaines d'application. C'est le cas avec les systèmes experts en particulier comme nous le verrons au troisième chapitre. Mais il y a aussi des champs de recherche plus fondamentaux qui peuvent être identifiés. Trois champs principaux vont être présentés (26): la compréhension de la langue naturelle, la perception et l'apprentissage. Ces trois concepts sont loin d'être mutuellement exclusifs comme nous le verrons, mais ils permettent de décrire assez bien les principaux courants de la recherche fondamentale en intelligence artificielle.

1- Compréhension de la langue naturelle

Contrairement aux enfants de l'école maternelle, les ordinateurs sont bons au jeu d'échecs mais faibles pour ce qui est de comprendre les langues naturelles comme le français ou l'anglais. Ce que signifie "comprendre" quelque chose n'est pas du tout clair, de même d'ailleurs que la relation entre le langage et la pensée. Alors ce n'est pas l'étude de l'intelligence artificielle qui va résoudre les débats sur ces questions. La langue est utilisée dans une trop grande variété de situations humaines pour qu'une seule définition de la compréhension puisse les englober toutes.

Les signes de la langue sont mis en correspondance dans l'ordinateur avec des représentations symboliques reliées entre elles par une gamme d'actions symboliques (règles de transformation, transitivité des attributs, etc.). Ce processus de création d'un programme avec ses représentations et ses actions internes demeure un défi qui semble loin d'être surmonté. Des succès ont été enregistrés dans l'utilisation de connaissances lexicales, grammaticales et sémantiques sur la langue naturelle, mais les progrès sont plus lents quant à la connaissance du monde réel sur le sujet en cause qui est également requise.

Différentes méthodes ont été utilisées:

- La plus simple, illustrée par le programme ELIZA, est la mise en correspondance de mots-clés qui peut donner une illusion de compréhension grâce à des règles de traduction (quand l'usager dit "je", le programme insère "tu" dans son intervention suivante), grâce aussi à des questions fourre-tout, ainsi qu'en reprenant les mots utilisés par l'usager.
- L'analyse grammaticale qui transforme les phrases en structures exprimant les relations grammaticales entre les mots. Cette procédure de recherche peut être effectuée efficacement avec l'aide d'un lexique et par une série d'allers-retours entre l'ensemble des structures grammaticales possibles et une phrase particulière ou ses parties.

- L'analyse sémantique établit la mise en correspondance entre les structures grammaticales rencontrées et les représentations internes du programme (objets et relations). Le programme donne ainsi du sens aux phrases, il en fait une interprétation sémantique en les transformant en structures symboliques qu'il peut manipuler. Cela peut être fait par diverses techniques. Ainsi, les grammaires sémantiques combinent règles grammaticales et sémantiques de façon indépendante du contexte; les grammaires de cas combinent aussi les deux types de règles mais avec des "cas", c'est-à-dire des structures qui décrivent les relations sémantiques entre les verbes et leurs arguments (agent, instrument, etc.), parfois avec l'aide de relations de dépendance conceptuelle.

Pour qu'un programme soit capable de comprendre la langue naturelle, il faut qu'il en vienne à découvrir les relations entre phrases: objets identiques, parties d'objets, parties d'actions, chaînes causales, etc., sont parmi les relations plus ou moins complexes entre phrases. Pour une interprétation correcte de ces relations, il faut beaucoup de savoir sur le monde réel dont il est question: par exemple, n'utiliser que le savoir pertinent selon les besoins en subdivisant un réseau sémantique, ou encoroe utiliser des structures de but (plans pour atteindre satisfaction, amusement, succès, conservation, etc.) afin de comprendre les actions de personnes humaines dans des histoires; ou encore recourir à des scénarios ou à des schèmes spécifiques de description d'objets et de relations.

Au delà de la compréhension de quelques phrases, l'interaction des gens dans leur langue écrite avec un programme pose plusieurs autres problèmes pour la compréhension du dialogue:

- initiative mixte: ce que l'usager dit n'est pas juste en réponse aux questions du programme, mais il peut dire des choses variées,
- propos indirects: en fonction d'un schème implicite, dire des choses de façon indirecte est fréquent dans les propos humains,

- présuppositions implicites de l'usager, celles-ci pouvant d'ailleurs être erronnées,
- références anaphoriques, le bon usage des pronoms,
- fragments de phrases, formes elliptiques.

Ces difficultés peuvent être réduites si le programme peut recourir à divers types d'information tels le fait que le dialogue soit orienté vers un but, ou encore qu'il dispose d'un modèle des croyances de l'interlocuteur humain.

Pour en venir à la compréhension de la langue parlée, le programme doit en plus utiliser du savoir sur la phonologie de la langue ainsi que suffisamment d'information supplémentaire pour gérer certaines ambiguïtés du discours verbal comme les homophones (ex: vert, vers, ver).

Toutes les procédures liées à la compréhension de la langue naturelle permettent la production du langage, lorsqu'elles sont inversées. Une structure symbolique représentant un élément d'information doit être mise en correspondance avec une phrase valide dans la langue désirée. S'il s'agit de fournir une réponse à une personne, c'est plus simple parce que les contraintes de la question fournissent une structure à remplir. Pour ce qui est de produire un texte intéressant pour l'humain, c'est autre chose. Les programmes existants sont peu sophistiqués et l'effort de compréhension par l'usager doit être plus grand que dans une conversation avec un autre humain (qui utilise naturellement les subtilités de la langue).

Les recherches sur la traduction automatique constituent une des plus anciennes applications non numériques de l'ordinateur. Les phrases de la langue-source étaient mises en correspondance directement avec des phrases de la langue-cible à l'aide d'un dictionnaire et d'un modèle simple des structures grammaticales des deux langues. L'échec de cette approche est dû à l'absence de compréhension de la langue-source, aux problèmes de désambiguation lexicale et grammaticale, aux différences entre les règles d'usage des pronoms, aux expressions idiomatiques, etc.

Ce qui manque à cette approche, c'est une étape de décodage sémantique de la langue-source aux représentations symboliques du programme, puis d'encodage de ces représentations symboliques dans la langue-cible. Autrement dit, il faut ajouter un troisième terme qui est interne au programme, une "interlingua", ce qui ramène le problème de la traduction au problème général de la compréhension de la langue naturelle.

2- Perception

La vision et l'ouïe ont été les sens humains les plus étudiés, mais le toucher aussi plus récemment. Les applications en robotique sont de plus en plus nombreuses et stimulent ce courant de recherche.

La perception est un processus élaboré et difficile. Si un signal attire notre attention, nous ne le percevons d'abord qu'incomplètement. La perception implique que le signal est catégorisé selon un processus hiérarchique. Pour percevoir le discours verbal, il faut analyser les sons, puis les mots, puis les structures de phrase. Pour percevoir une scène, la vision doit analyser des lignes, puis des formes d'objets et d'ombres avant qu'une image familière puisse apparaître. Ce processus de classification correspond à la structure hiérarchique du monde que nous essayons de percevoir. Mais c'est difficile parce que le processus de catégorisation à un niveau doit habituellement interagir avec les niveaux supérieurs et inférieurs à cause d'indéterminations locales, ou encore parce que les signaux se recouvrent en partie les uns les autres.

Les techniques utilisées de façon générale pour résoudre les problèmes de perception d'un échantillon verbal ou d'une image peuvent être décrites comme un processus d'analyse en cinq étapes:

- numérisation du signal (amplitude, pixels),
- écrêtage des variations brusques et brèves attribuables au bruit,
- segmentation des séries de données selon les composantes logiques du signal (phonèmes, lignes),

- étiquetage des segments en leur attribuant une ou quelques possibilités d'interprétation (tel phonème, tel type de ligne),
- analyse et synthèse des segments étiquetés pour former des objets cohérents en se référant à beaucoup de savoir spécifique du domaine. Le processus de base de cette dernière étape en est un de satisfaction de contraintes.

Le recours à un agenda est fréquent pour orienter la recherche d'un niveau à l'autre selon diverses heuristiques.

3- Apprentissage

Il n'y a pas de limite théorique qui nous empêcherait de construire des programmes capables d'apprendre, c'est-à-dire de modifier leur propre fonctionnement de façon à améliorer leur performance. Une telle capacité d'acquérir du nouveau savoir ou de modifier sa propre procédure de résolution de problèmes (son "raisonnement" ou cheminement logique) peut être programmée à l'aide des techniques déjà présentées mais en les appliquant différemment.

Nous avons vu que l'apprentissage ne se fait pas à partir de rien ("tabula rasa"), mais que les humains semblent au contraire apprendre de façon graduelle, s'appuyant sur le déjà connu pour apprendre du légèrement nouveau à la fois.

Apprendre par coeur est une façon simple d'apprendre. Il est facile d'enregistrer directement des données dans un programme, mais leur utilisation efficace dépend de leur organisation (ex.: l'indexation) dès que la quantité d'information emmagasinée devient volumineuse. Cette façon de transposer directement de l'information dans un programme est le style habituel de programmation avec les langages informatiques traditionnels qu'on pourrait caractériser comme une mémorisation des faits sans inférence.

Il y a des méthodes plus puissantes qui peuvent permettre l'apprentissage par un programme (27).

- L'apprentissage par analogie consiste à acquérir de nouvelles connaissances à partir du savoir déjà acquis pour agir face à une situation nouvelle. L'analogie est un mode d'inférence qui permet d'énoncer succinctement les similarités entre objets et qui fait porter par le récepteur, plus que par le locuteur, l'effort intellectuel nécessaire pour comprendre l'analogie, c'est-à-dire pour détecter les similitudes spécifiques en cause. Dans un programme, l'analogie fonctionne en utilisant les composantes structurelles d'un cadre encore peu spécifié pour sélectionner des cadres structurellement semblables mais ayant déjà été définis, et il peut alors s'enrichir de ces définitions.
- L'apprentissage de concepts par les exemples est une démarche d'induction d'un concept à partir d'exemples et de contre-exemples de ce concept. Cette activité de classification se fait en attribuant à des intrants particuliers le nom d'une classe à laquelle ils appartiennent. Un programme d'apprentissage de concepts serait utile par exemple dans l'indexation des références faite dans les bibliothèques et pour les banques de données. Il est en effet difficile de construire de bonnes définitions des concepts-clés surtout dans les domaines mal compris ou ceux qui changent rapidement. D'où l'intérêt de produire un programme de classification qui puisse faire évoluer ses propres définitions de classes.
- L'apprentissage par observation et découverte procède par expérimentation avec plusieurs cas d'un problème pour ajuster la pondération des paramètres d'une procédure d'évaluation en fonction de leur capacité de prédiction des succès et des erreurs obtenus comme résultats. Les heuristiques elles-mêmes peuvent être modifiées après un certain nombre d'observations où le programme enregistre les résultats obtenus par diverses règles de production en fonction des diverses étapes dans la résolution d'un problème.

CHAPITRE 3

LES SYSTEMES EXPERTS

Ce chapitre et le suivant présentent deux domaines d'application de la recherche et du développement en intelligence artificielle: les systèmes experts et les systèmes de traitement linguistique (ou de langue naturelle). Comme nous le verrons, ces deux axes de développement d'applications sont fortement liés.

Deux études sur le marché américain des applications d'intelligence artificielle prévoient une croissance très forte au cours des dix prochaines années. A partir d'un estimé de la valeur du marché en 1983 d'environ 70 millions de dollars, International Resource Development prévoit un marché de 8.5 milliards en 1993, alors que DM Data fixe sa prévision pour 1990 à 2.5 milliards. Manuel et Evanczuk (28), qui citent ces études, rapportent également les prévisions de DM Data ventilées par segment de marché.

Domaines d'application	Part du marché (%)	
	1983 (75 millions)	1990 (2.5 milliards)
Traitement de langue naturelle	24	43
Reconnaissance de parole	13	9
Reconnaissance visuelle	40	34
Systèmes experts	13	9
Enseignement assisté par ordinateur	9	4

Ces domaines d'application ne sont pas définis précisément dans la source citée. Notons toutefois que notre rapport délaisse les deux domaines liés à la perception (ou reconnaissance de forme), soit la reconnaissance visuelle et la reconnaissance de parole, dans la mesure où il s'agit de traitement à base sensorielle par opposition au traitement à base conceptuelle que nous privilégions ici. Ce choix fait porter l'attention sur les systèmes experts et les systèmes de traitement de langue naturelle. L'extension de ces deux domaines dans les re-

cherches en cours fait que nous aborderons de façon indirecte les domaines de reconnaissance de la parole et de l'enseignement assisté par ordinateur.

Ce chapitre se concentre sur cette partie des systèmes d'intelligence artificielle qu'on appelle les systèmes experts. A la suite à une définition de cette notion, un aperçu des systèmes experts existants est présenté. Ensuite la méthodologie générale pour la construction de tels systèmes est décrite.

A- Qu'est-ce qu'un système expert?

Les systèmes experts sont des programmes informatiques qui incorporent le savoir spécialisé et l'expérience d'un expert humain. Les systèmes experts se distinguent du reste des programmes en intelligence artificielle par le fait qu'ils effectuent des tâches difficiles requérant du savoir spécialisé et qu'ils donnent accès au niveau de compétence d'un expert humain. Nous avons déjà noté que les recherches en intelligence artificielle se sont progressivement déplacées des lois générales du raisonnement vers le savoir spécifique, ce qui aboutit justement aux systèmes experts (29).

Les systèmes experts sont donc le domaine de l'intelligence artificielle qui se concentre sur la construction de programmes de performance élevée en mettant l'emphase sur le savoir des experts humains. Ce savoir est constitué de connaissances sur un domaine et, grâce à l'expérience, d'une compréhension des problèmes du domaine et d'un recours à des heuristiques. Ces heuristiques peuvent correspondre à des devinettes mieux informées lorsque c'est nécessaire, ou à reconnaître rapidement des approches prometteuses aux problèmes, ou encore de s'arranger efficacement avec des données erronées ou incomplètes.

L'utilité des systèmes experts est d'emmagasiner du savoir qui se trouve présentement dans des imprimés mais surtout dans la tête d'experts humains, d'en faire le nombre de copies désiré, et ainsi de diffuser l'expertise. De plus, leur puissance peut être très grande si le

savoir de multiples experts sur un problème est intégré selon un modèle interdisciplinaire quelconque. Un système expert idéal serait utilisé comme un support intellectuel de haut niveau, un assistant intelligent pour l'humain qui peut ainsi gérer des problèmes plus complexes avec une plus grande maîtrise. Pour cela, un système expert doit comporter deux grandes qualités (30).

La première qualité désirable d'un système expert est qu'il s'appuie sur une base de connaissances étendue et volumineuse. Une grande quantité de savoir est critique et la question de comment représenter ce savoir de façon efficace est donc cruciale:

- la procédure de résolution doit comporter des heuristiques d'experts capables de fonctionner au niveau des dimensions vraiment cruciales d'un problème et capables de sauter rapidement à des hypothèses raisonnables permettant d'éliminer vite beaucoup de possibilités,
- la capacité de résoudre des problèmes dans un domaine d'expertise doit être assez générale pour résoudre, même incomplètement, des problèmes avec des caractéristiques inattendues,
- la capacité de résoudre des problèmes complexes et difficiles dans son domaine,
- la capacité d'accepter diverses formulations d'un problème et de les mettre correctement en correspondance avec ses structures internes de représentation,
- la capacité d'acquérir du nouveau savoir ou de modifier des connaissances ou des structures de raisonnement qu'il possède déjà grâce à de nouvelles instructions des humains qui le programment ou grâce à sa capacité autonome d'apprendre incorporée dans son fonctionnement.

La seconde qualité d'un système expert pour qu'il soit un outil efficace est que les gens doivent pouvoir interagir avec lui facilement. Outre le fait que cette facilité d'interaction peut aider à son instruction initiale ou aux modifications ultérieures apportées par les humains, il est essentiel qu'un système expert puisse expliquer son raisonnement en termes des étapes qu'il a suivies ainsi qu'avec des

justifications de ce raisonnement qui soient reliées aux principes de base de son domaine d'expertise. En effet, les gens n'accepteront les résultats d'un programme que s'ils ont compris le processus de raisonnement qui a produit ces résultats et ont été convaincus de sa justesse. Cela est particulièrement vrai dans des domaines sensibles comme avec les applications en médecine par exemple où une vie humaine peut être en cause. TEIRESIAS est un programme spécialisé dans ce travail de justification qui a été développé en association avec MYCIN dont il sera question dans les prochains paragraphes.

B- Aperçu des systèmes experts existants

L'ensemble des programmes en intelligence artificielle, y compris les systèmes experts, utilisent les techniques décrites au chapitre précédent. Les mécanismes généraux d'inférence représentent le cheval de trait qui est mis à l'ouvrage quand il n'y a pas de meilleur moyen de sélection basé sur des connaissances spécifiques. Leur usage au sein d'un programme sera moins fréquent s'il y a des heuristiques plus précises ou s'il suffit de trouver une bonne solution. Ces facteurs liés à l'usage des heuristiques générales peuvent être comparés au moyen de deux systèmes experts différents (31):

- MYCIN cherche à déterminer si un patient est atteint d'une infection qui doit être traitée. Le cas échéant, une thérapie sera choisie et un plan de traitement proposé par ce programme. La procédure de résolution se fait à partir des solutions possibles en remontant vers les données par chaînage arrière, la recherche portant sur toutes les voies plausibles afin de garantir la qualité de la solution qui est de portée vitale pour le patient. Le savoir médical en cause s'exprime sous forme de règles pas toujours certaines, auxquelles sont associés des degrés de probabilité. Ces estimés de certitude des inférences sont combinés (cumul de plusieurs sources non concluantes) pour une solution d'ensemble plus certaine.
- R1 fonctionne différemment par chaînage avant en cherchant à synthétiser dans un plan un ensemble donné de critères dans le

domaine du design électronique. Il opère à partir de contraintes et bâtit des configurations partielles d'abord, puis de plus en plus intégrées à mesure que les contraintes initiales sont satisfaites. Le programme n'a pas à trouver la solution parfaitement optimale, il suffit qu'il trouve une configuration du système qui soit relativement bonne, parce que les arrangements techniques (design des circuits d'ordinateur) en cause ont une importance assez secondaire en termes de coût et d'impact. Les règles du programme sont plus précises que dans MYCIN parce que le savoir représenté est considéré comme déterminé et certain en raison notamment du peu de conséquences négatives des multiples dérogations possibles par rapport à l'optimum absolu.

Cette comparaison entre deux systèmes experts n'est qu'une première façon de distinguer des classes parmi les programmes existants. Une autre façon de les classifier est selon les types de tâches génériques pouvant être confiées à des experts:

- Interprétation: analyse de données pour en déterminer le sens sous forme de descriptions de situations (surveillance, compréhension de la parole, analyse d'images).
- Prédiction: prévoir un cheminement futur à l'aide d'un modèle des interactions entre les composantes d'un système changeant dans le temps (prévisions de la météo, de la démographie, du trafic routier, des récoltes).
- Diagnostique: inférer des dysfonctions à partir des symptômes. Trouver ce qui ne va pas dans un système en se basant sur un modèle des interactions entre les composantes d'un système (diagnostique du corps humain, des ordinateurs, des appareils mécaniques, des logiciels).
- Design: déterminer les spécifications pour créer des objets satisfaisant à des exigences ou contraintes particulières (circuits électroniques, ordinateurs, architecture).
- Planification: préparer un programme d'actions à réaliser pour atteindre des buts selon un ordre de priorités, en tenant compte des interactions entre les buts et de la coordination d'acteurs divers.

- Supervision: observation continue du comportement d'un système en fonction de quelques caractéristiques cruciales à son succès, et réaction automatique ou signal à des humains pour corriger les perturbations ou les pannes advenant le cas (centrales nucléaires, trafic aérien, détection des fraudes fiscales).

Les systèmes experts peuvent également être classifiés selon leur domaine d'application (32). Certains systèmes experts sont déjà commercialisés et beaucoup sont en développement. Il est intéressant de voir avec un certain détail ce que font les systèmes experts dans leurs domaines respectifs.

- En génétique: aide aux chercheurs pour planifier des expériences en analyse et synthèse des structures d'ADN (MOLGEN, GENESIS).
- En chimie: DENDRAL analyse les données de la spectrométrie de masse pour déterminer la structure moléculaire et les éléments atomiques. SECS aide les chimistes dans la préparation de leur plan pour réaliser des synthèses organiques.
- En médecine: MYCIN diagnostique les infections bactériennes du sang et la méningite, PUFF les maladies pulmonaires, CADUCEUS est utilisé en médecine interne et ABEL pour certains problèmes liés à l'acidité. CASNET est un système d'évaluation des traitements pour le glaucome (maladie de l'oeil), ONCOCIN aide à la gestion des traitements en chimiothérapie du cancer, et VM supervise les patients en soins intensifs et propose des correctifs pour aider la respiration.
- En droit appliqué: LDS dans le domaine des réclamations pouvant être faites légalement auprès des compagnies d'assurances. TAXMAN conseille les entreprises sur les arrangements contractuels légaux (même si tortueux) pour économiser sur l'impôt ou les taxes à verser aux gouvernements.
- En éducation: GUIDON et TANGO adaptent leur questionnement de façon souple au progrès d'un étudiant dans l'enseignement assisté par ordinateur, grâce à une compétence dans le domaine enseigné qui permet d'identifier les modes erronés de raisonnement notamment.

- Dans les ressources naturelles: PROSPECTOR évalue les gisements potentiels de minerais. HYDRO est utilisé pour résoudre les problèmes liés à la ressource-eau. Trois systèmes experts ont été développés pour l'industrie du pétrole: WAVES est utilisé par les ingénieurs du pétrole quand ils ont recours aux données séismographiques, DRILLING ADVISOR diagnostique les problèmes rencontrés durant le forage des puits de pétrole et recommande des actions correctives et préventives, DIPMETER ADVISOR aide à interpréter les données d'exploitation des puits.
- Dans le secteur militaire: AIRPLAN pour gérer le déplacement d'un avion dans son environnement aérien; HASP/SIAP pour identifier et suivre les navires grâce aux signaux de sonar; TATR pour viser une cible aérienne à abattre. Il y a plusieurs autres systèmes de communication et d'alarme plus ou moins confidentiels.
- Dans le secteur manufacturier: CALLISTO aide à organiser, superviser, programmer et gérer de grands projets manufacturiers, et ISIS programme les horaires des activités dans un atelier de fabrication.
- Dans divers domaines liés à la gestion: KM-I est un système expérimental qui vise à utiliser le système de gestion de base de données d'une organisation via une base de connaissances correspondant à ses besoins d'information. RABBIT aide l'usager d'une banque de données à formuler ses requêtes.
- Dans la fabrication de matériel informatique: R1 et XCON sont utilisés pour faire le design d'ordinateurs, DART et SPEAR pour diagnostiquer les perturbations et les défaillances dans un système informatique. KBVLSI aide au design en micro-électronique. EURISKO peut apprendre par découverte dans le design de nouveaux circuits électroniques tridimensionnels.
- Dans la programmation informatique: PROGRAMMER'S APPRENTICE aide à la création et à la correction du logiciel. PSI compose des programmes simples à partir de descriptions en anglais de la tâche à réaliser. SACON conseille l'ingénieur qui utilise un progiciel d'analyse des structures pour qu'il puisse s'en

servir sans avoir à y consacrer auparavant des mois d'apprentissage.

Il y a également un groupe important de systèmes experts qui visent justement à fournir des outils pour la construction d'autres systèmes experts. Ils seront examinés dans la prochaine section consacrée à la construction des systèmes experts.

C- Exigences et méthodes pour la construction des systèmes experts

La construction des systèmes experts (33) dépend de ce qu'on peut appeler l'ingénierie du savoir dont l'objet porte sur toute performance experte qui n'est pas transformable en un processus algorithmique rigoureux. L'extraction du savoir d'un expert, son articulation, et sa programmation informatique constituent les tâches essentielles de l'ingénieur du savoir.

Le savoir d'un domaine donné peut être représenté sous forme de:

- descriptions: assertions composées de caractéristiques conceptuelles identifiant et différenciant les objets et les catégories.
- relations: type de descriptions indiquant des dépendances et associations entre éléments décrits dans la base de savoir.
- procédures: opérations à exécuter dans le processus de résolution d'un problème, façons de raisonner.

Le savoir d'un expert qu'il s'agit d'extraire pour l'incorporer à un programme peut être en bonne partie subjectif, pauvrement codifié et assez souvent basé sur des convictions. Le processus d'acquisition de ce savoir est un travail d'équipe comprenant au moins un expert d'un domaine et un ingénieur du savoir. L'acquisition du savoir pour la mise au point d'un système expert se déroule selon cinq grandes étapes.

1- Identification des exigences: caractériser les aspects importants du domaine du problème, identifier ses caractéristiques, les ressources expertes additionnelles requises, les buts du système expert et les ressources existantes.

2- Conceptualisation: description au moyen d'un schéma fonctionnel du processus de résolution en explicitant les concepts-clés et les relations de la base de savoir, les types de données disponibles, les sous-tâches, les stratégies, les hypothèses partielles, les procédures et les contraintes.

3- Formalisation: mise en correspondance formalisée des concepts, relations, données et procédures de l'étape précédente. L'ingénieur du savoir joue un rôle plus actif en proposant des spécifications à l'aide de techniques de base d'intelligence artificielle ou à l'aide de systèmes experts existants comme outils. Il s'agit de concevoir une structure et une organisation formalisées du savoir.

4- Implantation: travail de programmation par l'ingénieur du savoir qui développe le savoir déjà formalisé dans un programme: structures de représentation des données, règles d'inférence, stratégie de contrôle. Recherche de l'adéquation du programme avec les idées de base du système expert voulu.

5- Expérimentation: évaluation du prototype de programme avec des exemples de plus en plus variés pour détecter les faiblesses ou les erreurs dans la base de savoir ou la structure d'inférence: problèmes dans l'entrée de données, la forme des solutions, les règles incorrectes, incomplètes, incohérentes, manquantes, la qualité de la stratégie de contrôle. La révision du programme est faite en conformité avec les critères d'excellence définis par les experts du domaine, et l'ingénieur du savoir peut être amené à reformuler des concepts, les structures de représentation, les règles, etc. dans un raffinement progressif.

La complexité de la tâche et le type de savoir disponible sont des déterminants importants de l'organisation interne des procédures de représentation et de résolution dans un système donné. Si nos connaissances sont certaines et si les données sont fiables en même temps que l'espace des solutions possibles n'est pas trop immense, un programme assez simple pourra être construit. Mais si le savoir ou les données sont moins fiables ou peuvent varier dans le temps, ou si l'espace des

solutions possibles est vraiment trop immense, il faudra recourir à diverses techniques dans l'organisation du programme comme:

- combiner l'évidence de sources multiples;
- utiliser des modèles de probabilités, des modèles flous;
- hiérarchiser la recherche de solution selon une séquence fixe, ou adaptée à la situation courante dans la recherche de solution;
- etc.

En fait, il s'agit de combiner les diverses techniques d'intelligence artificielle que nous avons vues au premier chapitre de façon la plus adéquate possible selon les caractéristiques de la tâche à réaliser et la qualité et le type de solution voulus.

La création du programme informatique peut se faire entièrement à partir d'un langage comme LISP par exemple, mais il est souvent possible d'emprunter des parties d'autres systèmes experts. De tels emprunts ont d'ailleurs été facilités intentionnellement en séparant autant que possible des règles de contrôle plus générales (aussi appelées moteur d'inférences) se combinant aux règles propres à un domaine. Malgré des limites évidentes à la transférabilité des règles de contrôle en raison des différences dans les heuristiques employées entre les domaines, leur usage peut épargner beaucoup de travail. Trois systèmes squelettiques, i.e. sans les connaissances de leur domaine d'origine, ont été développés: EMYCIN (à partir de MYCIN), KAS (à partir de PROSPECTOR), et EXPERT (à partir de CASNET). La transférabilité a été très grande dans le développement du système expert PUFF (diagnostic des maladies pulmonaires) à partir du système squelettique de MYCIN. EMYCIN offre une structure pour un programme de consultation qui peut demander des données sur un cas et fournir une interprétation ou une analyse. Cette approche est bonne surtout pour les problèmes de déduction à partir de données non entièrement fiables et où l'espace des solutions (diagnostics) n'est pas trop immense et peut être énuméré. La recherche part des solutions et cherche les règles qui s'appliquent en remontant vers les données. KAS est semblable sauf que les chaînages avant et arrière sont disponibles. Quant à EXPERT, c'est une structure encore plus abs

traite pour développer des modèles de consultation dans les problèmes de classification par rapport à une liste pré-déterminée de classes possibles.

Les principaux éléments liés à un système expert en opération peuvent être décrits comme suit (34, 35):

USAGER: la personne qui utilise l'expertise du système en lui soumettant un problème, en répondant à des questions du système, en demandant au système de justifier son cheminement logique, et en utilisant les résultats (solutions partielles ou solution globale).

INTERFACE: moyen de dialoguer entre l'usager et le système, capable de faire le lien entre les intrants de l'usager (en langage artificiel ou quasi-naturel selon le cas) et les représentations internes du programme.

BASE DE CONNAISSANCES: ensemble de connaissances propres à un domaine: descriptions d'objets et de leurs relations, des cas d'exception, des différentes stratégies de résolution et de leurs conditions d'application. Comprend des faits pris comme certains et des heuristiques plus ou moins subjectives.

BASE DE FAITS ou TABLEAU NOIR: moyen d'emmagasiner les données du problème à résoudre et les résultats intermédiaires au cours du processus de résolution. Peut comprendre:

- un plan précis pour le problème traité (en termes de buts, tactiques, états du problème, contextes),
- un agenda, i.e. une liste des règles applicables à un moment donné selon un ordre de priorité,
- des éléments de solutions et des hypothèses plausibles.

MOTEUR D'INFERENCES: ensemble de procédures d'inférence relativement indépendant du domaine. Il s'alimente du contenu de la base de connaissances pour s'appliquer au contenu du tableau noir en exerçant une

action d'interprétation pour déterminer la stratégie dans le plan, l'ordre de priorité dans l'agenda, et maintenir la cohérence entre les éléments de solution à mesure que la résolution du problème progresse.

JUSTIFICATEUR: fonction moins essentielle qui consiste à enregistrer les chaînages effectués en vue de répondre aux éventuelles demandes d'explication de l'usager en retraçant alors les raisons des choix.

Une autre catégorie de logiciels pour créer un système expert est constituée de langages spécifiques aux systèmes experts (36). Ils sont plus souples dans les structures de contrôle possibles que les systèmes squelettiques. On peut noter:

OPS5: comprend des mécanismes généraux de contrôle et de représentation.

HEARSAY-III: particulièrement apte à combiner plusieurs sources de savoir, à élaborer graduellement une solution, à évaluer les solutions partielles avec des heuristiques.

RLL: un système expert destiné à assister la création d'autres systèmes experts. Contient une série de types d'espaces à remplir, de mécanismes de contrôles, et de schèmes d'attribution de propriétés. Permet la construction d'autres primitives au besoin. Le savoir est facilement représenté dans une hiérarchie par niveau d'abstraction. Ce que RLL fait, c'est qu'il traduit en LISP des instructions de haut niveau, c'est-à-dire plus près du langage ou des modes d'appréhension de l'humain (l'ingénieur du savoir en l'occurrence). Il s'agit, à un certain degré, de programmation automatique.

ROSIE: sans tenter de comprendre la langue naturelle, ce programme reflète la structure logique de l'anglais au moyen d'un certain nombre restreint de types de phrases en anglais, ce qui s'avère un outil facile à utiliser pour construire la base de savoir d'un système expert.

AGE: L'outil le plus souple, AGE permet à l'usager de choisir et spécifier une variété de représentations du savoir et de méthodes de traitement. Il est basé sur des composantes prédéfinies très utiles pour les représentations de concepts et d'objets concrets,

la détermination des règles de production et de contrôle, et il offre même des cadres et un tableau noir.

Il y a d'autres systèmes comme MRS, UNITS, ou TEIRESIAS qui peuvent aussi être utilisés dans la programmation d'un système expert. Il y a également des outils divers de construction de systèmes experts offerts par des entreprises privées: AL/X, KEPE, KS-300, LOOPS, SAGE. Leurs capacités sont du même ordre que les outils de programmation présentés auparavant.

D- Faiblesses et promesses des systèmes experts

L'évaluation d'un système expert doit porter sur la qualité de ses techniques de raisonnement et des solutions auxquelles il parvient, l'efficacité de son fonctionnement et la qualité de l'interaction qu'il permet à ses usagers. Les systèmes experts existants sont affectés de plusieurs faiblesses qui en font plus ou moins des "idiots savants" en raison des limites étroites de leur domaine d'expertise, de leur langage limité en termes de puissance d'expression, des limites à leur capacité de raisonnement, de leur pauvre perception de leurs propres limites, de l'absence de techniques sûres pour la conception initiale de leur base de savoir.

Le principal point faible des systèmes experts est leur pauvre capacité à saisir le savoir général et difficile à spécifier que nous appelons le sens commun et qui caractérise fortement l'intelligence humaine. C'est ainsi que la compréhension de la langue naturelle est encore largement inaccessible à l'intelligence artificielle, bien que ce type d'expertise se développe spontanément chez l'enfant en bas âge.

Là où l'intelligence artificielle excelle cependant, et peut même en venir à dépasser ses mentors humains, c'est dans des tâches où une grande quantité de savoir spécialisé est requis, là où les combinaisons à examiner pour parvenir à une solution sont très nombreuses et exigent l'interprétation de grandes quantités de données. Plus le savoir requis pour résoudre une tâche est structuré, plus il est facile à codifier

pour l'usage de l'ordinateur. Beaucoup des tâches actuellement réalisées par des experts humains rares et coûteux constituent des domaines potentiels d'application commerciale particulièrement dans un contexte où le coût des ordinateurs décroît rapidement. C'est vrai pour des applications concernant les ressources naturelles, le secteur manufacturier, l'informatique dans les bureaux et dans les foyers, et en particulier le secteur militaire.

Les systèmes experts sont donc un axe prometteur du champ de l'intelligence artificielle en raison des nombreuses applications commercialisables qu'on peut envisager, et en raison du fait que les systèmes experts déjà développés peuvent être pris comme outils de développement de nouveaux systèmes. Egalement, comme dans le reste de l'intelligence artificielle, il y a un potentiel énorme dans la capacité d'apprentissage qui peut être introduite dans un programme qui comprendrait et pourrait modifier sa structure ou ses modes d'opération de façon à améliorer sa performance.

Quant au problème de la compréhension de la langue naturelle, c'est une caractéristique essentielle de l'image des "ordinateurs de cinquième génération". Cette compréhension dépend beaucoup du sens commun et pourrait demeurer pour longtemps le plus grand défi, peut-être insurmontable de façon absolue, en intelligence artificielle. Cependant, comme nous le verrons dans la section suivante de ce chapitre, beaucoup de progrès significatifs et rentables peuvent être accomplis par l'ordinateur en traitement linguistique bien en deça de la compétence humaine dans la compréhension de la langue naturelle.

CHAPITRE 4

LES SYSTEMES DE TRAITEMENT LINGUISTIQUE

La question du traitement linguistique a été abordée au deuxième chapitre dans la partie intitulée "Compréhension de la langue naturelle". Ici, le point de vue est différent et ce sont les applications qui sont abordées.

Il y a un rapport étroit entre les systèmes experts et les systèmes de traitement linguistique. D'abord parce que l'interface d'un système expert est d'autant meilleure qu'elle permet à l'usager de s'exprimer de façon aussi naturelle, aussi près de sa langue, que possible. En ce sens, le problème du traitement linguistique ressemble à celui des systèmes experts comme PSI ou les nouveaux langages comme RLL qui ont déjà été présentés comme des moyens de programmation partiellement automatisée. Mais leur relation avec les systèmes experts vient aussi du fait que les systèmes de traitement linguistique peuvent se présenter sous forme de systèmes experts en l'une ou l'autre des diverses capacités linguistiques programmables (ex.: traduction, analyse de contenu).

Ce chapitre commence par un sommaire des grandes notions de linguistique computationnelle, c'est-à-dire de l'application de l'ordinateur à l'étude de la langue. Trois domaines d'applications seront ensuite abordés: les interfaces personne/machine en langue naturelle, la traduction automatique et la reconnaissance de parole.

A- Grandes notions de linguistique computationnelle

Une façon d'aborder la linguistique computationnelle qui est pertinente à notre propos est de la percevoir comme l'ensemble des concepts et techniques permettant de combler la distance encore indéfinie entre la complexité du sens des langues naturelles et la formalisation sémantique simplifiée des langages artificiels que l'ordinateur peut comprendre. Nous ne visons donc qu'à présenter les quelques notions essentielles à la compréhension de ce qui suit.

Plusieurs concepts et techniques ont déjà été présentés au premier chapitre: réseau sémantique, dépendance conceptuelle, cadre et scénario (p. 25), ainsi que la mise en correspondance de mots-clés, l'analyse grammaticale et l'analyse sémantique (pp. 27-28). La théorie de Chomsky d'une grammaire transformationnelle a beaucoup influencé l'évolution de la linguistique computationnelle: la phrase est vue comme une structure superficielle (ou de surface) construite à l'aide d'un ensemble de règles et d'un lexique à partir d'une structure profonde qui est le lieu de l'idée exprimée. La théorie linguistique de Halliday, qui mettait l'accent sur l'usage de la langue (sa pragmatique) pour expliquer la structure linguistique, a également eu une influence importante, notamment sur la représentation procédurale des connaissances.

La technique passe-partout en linguistique computationnelle est la décomposition ("parsing") de la phrase par un programme qui cherche les fonctions des mots de la phrase en retraçant sa structure syntaxique. Cependant, les seules règles grammaticales ne suffisent pas pour obtenir un décompositeur adéquat. Les réseaux augmentés de transition ("augmented transition network") de Woods par exemple ont la versatilité nécessaire pour tenir compte de sources d'information (sémantique, pragmatique) autres que les règles grammaticales (37).

B- Interface personne-machine en langue naturelle

Les interfaces en langue naturelle sont des systèmes informatiques permettant la communication entre une personne et un logiciel complexe et laissant l'humain travailler dans la langue qu'il parle et écrit normalement. Le programme SHRDLU de Winograd a été un précurseur dans cette voie dès 1972. Ce programme permettait le dialogue avec un usager humain dans lequel il simule un robot manipulant un ensemble d'objets simples sur une table. Il marque une étape significative en permettant d'utiliser en combinaison des structures linguistiques et des structures de raisonnement grâce à un contexte simplifié, le "monde des blocs".

La sémantique ne peut cependant être outrepassée aussi facilement en général. Pour résoudre le problème de la multiplicité du sens, les systèmes SAM et MARGIE de Schank recourent à la dépendance conceptuelle pour composer des représentations en structure profonde avec un petit nombre de primitives sémantiques décrivant les relations entre concepts, dont des relations de causalité ou autres formes de dépendances. D'ailleurs, le type de représentation procédurale de SHDRLU a été utilisé avec une sémantique plus complexe dans LUNAR. Ce système visait à permettre aux géologues d'utiliser leur terminologie familière pour interroger une base de données dans leur analyse des roches rapportées de la Lune par Appollo-11. LUNAR a une structure de réseau augmenté de transition pour traduire en requête formalisée une question en langue naturelle en fonction d'un ensemble de règles d'analyse sémantique propres au domaine (38).

LIFER a été développé par Hendrix (39) comme un interface adaptable à des besoins particuliers grâce à la technique des réseaux sémantiques. En plus d'un décompositeur doté d'une grammaire sémantique, LIFER comporte un ensemble de fonctions interactives permettant de spécifier la description d'un domaine en langue naturelle et de son interprétation par le système. Il est ensuite loisible à des usagers non experts de communiquer avec le programme dans leur langue. LIFER a servi au développement de HAWKEYE dans le domaine de la cartographie et surveillance militaire. LIFER lui-même était la composante de langue naturelle de LADDER qui permet l'accès en anglais à une base de données répartie pour assister la Marine américaine dans sa gestion. Ce dernier système a en plus des capacités de correction d'erreurs et d'interprétation des formes elliptiques des usagers.

La question de l'interface en langue naturelle est de moins en moins aisément séparable d'autres approches pour appliquer l'intelligence artificielle dans les systèmes de gestion de base de données (SGBD). Les SGBD sont la réponse apportée par les organisations face au chaos du traitement informatique caractéristique du stade de "contagion" décrit par Nolan (40). Un SGBD est un système logiciel ayant pour tâche d'assurer la gestion automatisée d'une base de données. Une caractéris-

tique importante est l'indépendance entre les données et les programmes, ce qui permet de les manipuler séparément et de faciliter des modifications éventuelles (41). Des applications de l'intelligence artificielle ont été développées tant pour la construction initiale (langage de description), que pour l'utilisation courante de la base de données (langage de manipulation).

Pour une organisation, sa base de données est un modèle conceptuel, une représentation d'un certain univers autour duquel s'articulent ses traitements informatiques. Ce modèle ou schéma conceptuel doit être décrit avec une structure de concepts et de leurs règles d'utilisation. Par rapport au COBOL, le recours à des programmes d'intelligence artificielle permet une formalisation plus efficace en réseaux sémantiques. Les systèmes TAXIS et SDM (42) sont de tels outils de construction du modèle conceptuel d'une base de données qui permettent de définir les relations entre entités du domaine par restriction, abstraction, aggrégation, exception, héritage de propriétés entre classes. Ces structures formelles ont pour avantage de faciliter les procédures d'inférence et de trouver des réponses "intelligentes" aux questions des usagers.

Une fois établi le schéma conceptuel de la base de données, divers schémas externes, correspondant aux applications, doivent être développés pour les utilisateurs. Le système TED vise à faciliter cette étape en dérivant semi-automatiquement des interfaces en langue naturelle à partir des renseignements fournis sur les expressions en anglais qui désignent les concepts de la base, les liens entre fichiers de la base, l'étendue de certaines propriétés, etc.

Une autre approche du problème est le développement de schémas externes de façon "ad hoc", se concentrant sur l'optimisation des requêtes. C'est ce que font de façons variées les systèmes KLAUS et QUIST notamment, ainsi que COOP, qui peut même corriger certaines présuppositions fausses dans les requêtes de l'usager. Le système KM-1 vise un objectif semblable à ces systèmes mais en incorporant plus de connaissances dans les procédures d'inférence du SGBD.

Mais c'est au niveau des systèmes facilitant l'interaction des usagers avec les SGBD que les développements ont été les plus nombreux. Des dialogues en langue naturelle sont possibles pour des réservations d'avion avec GUS et pour des réservations d'hôtel avec HAM-ANS. Le programme INTELLECT est vendu pour aider les utilisateurs à spécifier leurs questions à divers SGBD qui opèrent sur des systèmes IBM. Les programmes THEMIS et ASK sont semblables à INTELLECT avec plus de flexibilité pour l'usager qui veut définir des références plus personnelles, plus directement ajustées à ses besoins spécifiques. Certaines de ces interfaces en langue naturelle sont spécifiques à un domaine donné, comme EXPLORER, qui est attaché à un programme géologique complexe. Des versions simplifiées d'interface en langue naturelle sont même offertes pour opérer sur les micro-ordinateurs: SAVVY et STRAIGHT TALK. Enfin plusieurs autres systèmes d'interrogation des SGBD en anglais sont en développement: EPISTLE à IBM, RABBIT chez Xérox, NATURAL LINK chez Texas Instruments, SUPERNATURAL chez Microdata, et TEAM au Stanford Research Institute (43).

C- Traduction automatique

Nous avons vu au premier chapitre que le succès éventuel de la traduction automatique dépend d'un intermédiaire dans le passage entre les deux langues, soit l'"interlingua" ou la structure profonde des phrases en quelque sorte. Après 30 ans de recherche en traduction automatique, les systèmes existants sont loin du niveau de compétence des traducteurs humains. Les systèmes de traduction automatique ont évolué de deux façons au cours des dernières années:

- soit qu'ils sont spécialisés dans un domaine technique étroit, comme TAUM-Météo qui a été mis au point dans le projet de traduction automatique à l'Université de Montréal,
- soit qu'ils tentent de ne faire qu'une partie du travail de traduction en interaction avec un traducteur humain qui fait les équivalences et

D- Reconnaissance de parole

Les programmes d'interface personne/machine que nous avons passés en revue supposent tous un dialogue écrit au moyen d'un écran et d'un clavier ou autres appareils semblables. Cependant, la communication verbale avec l'ordinateur suppose que ce dernier peut comprendre la langue parlée. Dans les années soixante, les chercheurs se sont attaqués à la reconnaissance de mots isolés, et ce n'est que récemment que des programmes basés sur la recherche d'équivalences au niveau du signal sonore parvenaient à reconnaître fidèlement plus d'une centaine de mots.

Toutefois quand une personne parle, les mots ne sont pas isolés mais intégrés dans un débit où les mots peuvent être prononcés de diverses façons et il est difficile de déterminer où un mot s'arrête précisément et où le mot suivant commence. La seule interprétation des signaux acoustiques ne suffit pas, et il faut recourir à des connaissances syntaxiques, sémantiques et pragmatiques pour avoir une structure de programme adéquate. C'est pourquoi les systèmes de compréhension de la parole ont une double structure:

- un côté "inférieur" qui compare un signal acoustique donné avec des schèmes emmagasinés spécifiant les variations possibles dans la composition phonétique des mots d'un lexique;
- un côté "supérieur" qui construit des attentes sur les mots probablement dits en fonction des contraintes syntaxiques, sémantiques et pragmatiques.

Le côté supérieur prend parfois plus d'importance et interprète une phrase même si tous les mots n'ont pas été compris (45).

Une telle intégration de divers niveaux de connaissance dans le fonctionnement du programme avait été réalisé avec HEARSAY-II en reconnaissance de parole et a permis le développement d'un outil de construction de systèmes experts, HEARSAY-III qui a été mentionné au chapitre précédent.

CHAPITRE 5

PORTRAIT INTERNATIONAL DE RECHERCHE-DEVELOPPEMENT

Ce chapitre trace un portrait international de recherche-développement en intelligence artificielle. Mon intention est de situer dans son contexte global le contenu du chapitre 6 qui portera sur la situation au Canada et au Québec.

La domination américaine qui prévaut pour l'ensemble de l'informatique se retrouve dans le secteur particulier de l'intelligence artificielle. Nous commencerons donc par ce pays, puis nous verrons le Japon, la Communauté Economique Européenne, la Grande-Bretagne et la France et le reste des pays européens en rassemblant les renseignements disponibles sur les programmes et les activités de recherche-développement en intelligence artificielle.

A- Etats-Unis

La domination actuellement exercée par les Etats-Unis en intelligence artificielle est due en partie au financement venu du Pentagone via le DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), qui a octroyé un total de 500 millions de dollars à la recherche de pointe en informatique au cours des vingt dernières années (46). Cela a fait du DARPA le principal soutien de la recherche en intelligence artificielle.

Les années 1982 et 1983 ont marqué un tournant difficile dans le choix de nouvelles priorités pour le DARPA dans son programme en informatique. Au cours de débats animés dans les milieux d'experts et au sein d'au moins trois comités d'étude (47), deux axes se disputaient les mêmes ressources: les superordinateurs plus rapides versus l'intelligence artificielle tablant plutôt sur la flexibilité. Un des thèmes de ce débat mettait en cause l'importance relative d'aider l'industrie américaine face au Japon par opposition à la poursuite d'objectifs plus strictement militaires.

En novembre 1983, la décision était d'accorder la priorité à l'intelligence artificielle, sans toutefois abandonner la conception et la fabrication de superordinateurs (48). Comme nous l'avons vu en effet, les développements récents en intelligence artificielle sont basés sur les connaissances du monde réel, ce qui peut amener les programmes à avoir une taille énorme et inciter à recourir à ces superordinateurs. Au plan industriel, la priorité à l'intelligence artificielle reflète le changement d'emphase du matériel vers le logiciel qui se poursuit en informatique: le chemin qui conduit aux "ordinateurs qui voient, entendent, parlent et pensent" apparaît moins dépendant d'une vitesse de calcul accrue que des limites actuelles dans nos concepts et méthodes de représentation et de traitement symbolique. Au plan militaire également, l'intérêt de véhicules sans équipage humain et d'armes flexibles et capables de tenir compte des conditions de terrain et des mouvements de l'ennemi justifie cette priorité (49,50). Ce nouveau programme du DARPA tablerait sur un budget de 600 millions de dollars en cinq ans.

Au cours de la même période, le secteur privé de la microélectronique a serré les coudes devant le "défi japonais" dans un climat politique d'assouplissement des lois "antitrust" aux Etats-Unis. C'est ainsi qu'en 1982, deux consortiums américains de recherche-développement ont été mis sur pied (51,52):

- "Semiconductor Research Corporation" (SRC): vise à partager les coûts de recherche pour la mise au point des microprocesseurs de type 256K RAM et au-delà, pour 13 compagnies dont IBM, Hewlett-Packard, Intel, Control Data, Digital Equipment, Motorola. A son siège social en Caroline du Nord dans le "Research Triangle Park". Ne fait pas de recherche directement mais commandite la recherche universitaire sur des objectifs à long terme au rythme de 12 millions en 1983 et 30 millions en 1984.
- "Microelectronics and Computer Technology Corporation" (MCC): présidé par un ancien directeur de la CIA, ce consortium d'une quinzaine de compagnies a un budget important de quelque 75 millions en 1983. Rassemble Control Data, Digital Equipment, Honeywell, Motorola, RCA, et d'autres, mais plusieurs firmes majeures dont IBM, Cray Research, Texas Instruments et Intel ne

se sont pas jointes. Il y a 250 employés à Austin (Texas): les entreprises prêtent des chercheurs pour une période pouvant aller jusqu'à quatre ans. C'est le MCC qui détient les patentes et les licences des résultats de la recherche, mais la fabrication et la mise en marché sont laissées aux compagnies-membres qui jouissent de droits exclusifs durant trois ans. Les objectifs de recherche à court et moyen termes portent sur les assemblages ("packaging and interconnect") de microprocesseurs, le génie logiciel avancé, et le développement d'outils de CFAO pour les industries de l'électronique et de l'informatique. Les objectifs à long terme (10 ans) portent sur l'architecture informatique, le logiciel et l'intelligence artificielle.

Cette collaboration institutionnalisée n'est peut-être pas la principale forme de transfert technologique et de connaissances qui explique le succès américain. Le principal facteur à cet égard a jusqu'à maintenant été la mobilité du personnel entre les universités et les entreprises privées, ainsi qu'entre les entreprises, ou encore la création de nouvelles entreprises par des employés ayant quitté les grandes entreprises. Ainsi, les ex-employés de Fairchild sont majoritaires chez les chefs d'entreprises de microprocesseurs en Californie (53). C'est d'ailleurs dans l'orbite régionale des grands centres traditionnels de recherche universitaire en informatique de pointe et en intelligence artificielle que s'est développée l'industrie: le M.I.T. dans la région de Boston, Stanford en Californie, Carnegie-Mellon à Pittsburgh. Mais le nombre d'universités importantes d'enseignement et recherche a augmenté rapidement au cours des dernières années: Austin (Texas), Santa Cruz (Univ. of California), Columbia (New York), Urbana (Univ. of Illinois), Amherst (Univ. of Massachussets), Ann Arbor (Univ. of Michigan), Columbus (Ohio State Univ.), New Brunswick, N.J. (Rutgers Univ.), New Haven, CT (Yale). L'intensité des échanges est particulièrement forte autour du "Heuristic Programming Project" à l'Université Stanford, surtout avec le Stanford Research Institute International de Menlo Park, et le Centre de recherche de Xérox à Palo alto. Le programme de cours en intelligence artificielle à Stanford est particulièrement élaboré (54).

B- Japon

Au cours des années 1970, le Japon avait impressionné les Occidentaux par sa planification explicite du développement de l'informatique et sa capacité concurrentielle croissante en fabrication microélectronique. Au début de 1982, le Japon a fait peur aux autres pays industrialisés avec son projet des "ordinateurs de cinquième génération" dans lequel le gouvernement voulait investir pour 300 millions de dollars américains en dix ans. Ce projet initial parlait de superordinateurs, possiblement basés sur l'optique, et programmés au moyen des techniques d'intelligence artificielle leur donnant la capacité de parler et de penser. Ce projet devait être entrepris avec les compagnies japonaises et une invitation était faite aux compagnies étrangères pour une collaboration en recherche. La réaction étrangère en fut une de panique aux Etats-Unis du moins, où les nouvelles structures du SRC et du MCC ont été mises sur pied et le DARPA adapté en guise de contre-attaque à ce qui fut perçu comme un défi lancé à la suprématie américaine en informatique. Le choc fut d'autant plus grand que les Occidentaux avaient jusque là considéré les Japonais comme peu créatifs au plan du logiciel (55).

Le plan japonais, comme sa réplique américaine, avait deux volets: priorité d'investissement en intelligence artificielle, mais aussi mise au point de superordinateurs mille fois plus rapides que ceux existants. La réalisation du projet implique les grandes entreprises comme Fujitsu-Fanuc, Hitachi, NEC et les universités dans un effort collectif de recherche-développement coordonné par le Ministère de l'industrie et du commerce international. De nouveaux centres de recherche ont été mis sur pied dont le ICOT (Institute for new generation computer technology), selon un modèle copié ensuite par le MCC américain, dans lequel des chercheurs sont prêtés un certain nombre d'années par les compagnies.

Une autre annonce japonaise faite en 1982 qui a énervé les milieux de recherche aux Etats-Unis est le choix du langage de programmation PROLOG pour cette prochaine génération d'ordinateur. Les cher-

cheurs américains en effet utilisaient le LISP depuis 20 ans de façon presque exclusive en intelligence artificielle et PROLOG était peu connu d'eux ou du moins peu en usage. Le nom de ce langage est une contraction de "Programmation logique". Ce langage a été conçu à l'Université de Marseille vers 1970, mais il n'a été développé comme outil opérationnel de programmation que vers la fin des années soixante-dix à l'Université d'Edimbourg en Ecosse. Il s'avère que le principal atout de PROLOG est de faciliter la programmation directe des relations et de la logique sans avoir à traduire un plan abstrait en procédures exécutables comme en LISP. Il permettrait donc au programmeur humain de fonctionner plus naturellement dans son activité conceptuelle visant à développer un logiciel. Cependant, LISP et PROLOG se ressemblent beaucoup dans les automatismes qu'ils permettent et leurs structures de représentation: les deux langages ont l'avantage de traiter les données et les règles d'inférence de la même façon, PROLOG en termes de relations, et LISP en termes de fonctions. Il apparaît que la comparaison doit plutôt être faite en rapport avec la richesse des "environnements de programmation", c'est-à-dire l'ensemble des outils déjà disponibles dans un langage de support pour faciliter le développement de logiciels variés (ex.: outils de construction de systèmes experts vus au chapitre 3). Or à cet égard, il semble que LISP soit encore supérieur à PROLOG quant aux outils déjà programmés qu'il permet d'utiliser. A noter toutefois qu'il est possible de programmer en PROLOG en se servant des dispositifs avancés de l'environnement LISP grâce à des compilateurs spéciaux (56). Les chercheurs américains se sont mis au PROLOG comme outil complémentaire de programmation, et les évaluations se poursuivent. D'ailleurs, le choix de PROLOG semblait moins radical chez les Japonais en 1983. Un projet récent, "NUE", vise à mettre au point un langage qui combinerait LISP, PROLOG, et SMALLTALK (de Xérox) en essayant d'intégrer les atouts de ces différents styles de programmation pour augmenter la variété des approches de représentation et d'inférence disponibles aux créateurs de logiciels.

Mais le Japon continue de mettre de nouvelles cartes sur table visant à accroître sa capacité de production de logiciels. Les Japonais accordent de l'importance à l'"environnement de programmation", et ils

concentrent les ressources d'aide à la programmation dans des "manufactures de logiciel": Toshiba a déjà une première installation avec 3 000 programmeurs disposant d'outils sophistiqués de programmation, et une autre est en construction. Par ailleurs, le Ministère de l'industrie et du commerce extérieur fait actuellement pression au sein du gouvernement japonais pour faire changer la loi sur le droit d'auteur. Le but est de faire sauver du temps de programmation et de l'argent aux compagnies japonaises en légalisant la copie de portions de logiciels existants sans la permission de ceux qui les ont créés dès lors qu'ils sont vendus au Japon (57).

Deux ans après le lancement du projet japonais, les Américains n'ont pas perdu leur position dominante quant à la quantité de ressources investies en recherche-développement en intelligence artificielle. Mais les Japonais sont devenus de bons seconds. Et leurs formes institutionnelles d'organisation de la recherche et du développement, ainsi que leur remise en cause du droit d'auteur sur les logiciels sont de nouvelles façons d'augmenter la productivité qui sont très déroutantes pour les autres pays industrialisés habitués à un certain régime de concurrence.

C- Communauté Economique Européenne (CEE)

Face à la forte compétition américaine et japonaise, les compagnies européennes ont dû se contenter d'une part réduite du marché des technologies d'information. Cette réduction s'est même accélérée depuis 1975 même si le total des sommes investies dans ces pays ouest-européens en recherche-développement est le double du niveau japonais et juste un peu inférieur au niveau américain (58).

Depuis trois ans, les technocrates du Marché Commun se sont affairés à faire partager le diagnostic que la masse critique en recherche-développement se situe dorénavant à un niveau supérieur. Le programme ESPRIT ("European Scientific Programme for research in Information Technology") a été promu par M. Davignon, vice-président de la Commission de Bruxelles, comme "l'outil d'une véritable coopération industrielle au niveau européen" (59).

A l'été 1983, le programme a démarré sur une base expérimentale (60) en finançant des projets en milieu industriel impliquant des entreprises d'au moins deux pays de la Communauté. Sur 200 projets soumis, 38 ont été acceptés pour une aide de la CEE de 10 millions (61). Il y a eu beaucoup d'incertitude quant aux mécanismes de mise en commun des ressources et de partage des résultats. C'est dans ce contexte qu'en septembre 1983, trois grands constructeurs d'ordinateurs ont fait alliance dans la mise sur pied d'un Institut de recherche en traitement de l'information qui se centrera sur l'intelligence artificielle. Il s'agit d'une entreprise française, CII-Honeywell Bull, d'une entreprise ouest-allemande, Siemens, et d'une entreprise britannique, International Computers ltd. (ICL). L'Institut de recherche sera établi dans la région de Munich.

Alors que l'attente générale était que le programme ESPRIT serait adopté en décembre 1983 à la rencontre des chefs d'Etat à Athènes, ce ne put être fait en raison de l'opiniâtreté de la Grande-Bretagne qui négociait ainsi son désaccord quant au budget total de la CEE et sa politique agricole. Mais la Grande-Bretagne est revenue à la raison le 28 février 1984 alors qu'une réunion des ministres de l'Industrie des dix pays membres approuvait le programme avec un budget de 646 millions de dollars américains sur cinq ans. Les secteurs concernés sont le traitement d'information, l'informatisation des bureaux et des manufactures, et les ordinateurs de cinquième génération, rapides et intelligents. Les entreprises doivent financer 50% des coûts des projets subventionnés. Plusieurs grandes firmes participent déjà à diverses alliances: Phillips, Plessey, Siemens, Thomson, Olivetti, ICL. Les universités et centres de recherche peuvent également prendre part, de même que les entreprises de taille moindre.

Il y aura certainement des ajustements qui devront être faits au cours du programme avec les stratégies nationales en recherche-développement dans le même domaine. Le plaidoyer du président français pour une coopération européenne accrue en électronique prioritairement va dans le sens de l'intégration, cependant que des firmes collaborant à ESPRIT ont aussi des liens avec des sociétés américaines et japonaises, notamment Olivetti, Phillips et Thomson.

D- Grande-Bretagne

Si la Grande-Bretagne a empêché l'adoption du programme ESPRIT dès décembre 1983 bien qu'elle soit aussi bien placée que les autres pour en tirer profit, c'est peut-être que ce pays avait déjà le programme national le mieux développé en ce domaine parmi les pays européens.

La Grande-Bretagne était à la pointe en informatique au cours de la guerre 39-45 par ses recherches sur le chiffrage (codes secrets) qui ont joué un rôle stratégique. En dehors des universités américaines, c'est dans les universités de ce pays que s'est fait le plus de recherche en intelligence artificielle au cours des années soixante-dix. Peu après que les Japonais eurent lancé leur programme d'ordinateur de cinquième génération en 1982, des experts britanniques ont complété la rédaction du rapport Alvey qui recommandait un important investissement gouvernemental pour amener les industries, universités et centres de recherche à collaborer en recherche-développement informatique dans plusieurs secteurs dont la technologie de très haute intégration, le génie logiciel, les interfaces personne/machine, les systèmes experts, la CAO, l'enseignement, les communications. Les options ont été examinées durant plusieurs mois et ce n'est qu'en septembre 1983 qu'un programme de 270 millions de dollars américains pour cinq ans était prêt à démarrer (62).

Un rapport gouvernemental sur la politique de recherche-développement (Chilver et Merrison) paru à l'été 1983 a apporté un appui décisif au rapport Alvey. S'appuyant sur le principe que les entreprises britanniques devraient collaborer en recherche dans les domaines où les principes de base d'une nouvelle technologie sont connus mais les produits finals encore loin de la commercialisation, le rapport Alvey recevait des éloges pour son choix d'un domaine au marché potentiel important, parce qu'il représentait un moyen de mettre en marche des projets en collaboration, et parce qu'il incitait l'industrie à être sélective dans les programmes spécifiques à mener dans un domaine aussi vaste (63).

Une des principales mesures de ce programme est la création du Turing Institute en 1984 à l'Université de Strathclyde en Angleterre. Son rôle sera la recherche fondamentale en intelligence artificielle incluant l'architecture des ordinateurs, la programmation automatique, les systèmes basés sur le savoir, et la robotique avancée. Ce projet est financé conjointement par l'industrie dont ICL, Sinclair Research, Thorn-EMI, deux laboratoires de Shell, ainsi que deux agences gouvernementales.

L'Imperial College de Londres joue également un rôle important pour la création d'un ordinateur permettant le traitement parallèle avec des "transputers" composés de 112 microprocesseurs et développés par une compagnie britannique, Inmos. L'ordinateur s'appellerait ALICE ("Applicative language idealised computing engine"), et son langage de programmation serait le PARLOG, langage original adapté à un traitement en parallèle et basé sur le LISP et le PROLOG ainsi que le HOPE. Ce dernier est lui-même une création britannique de langage d'intelligence artificielle. D'autres universités comme celles de Sussex et d'Edimbourg mènent des recherches et assurent un enseignement dans le domaine (64). Les universités de Cambridge (à l'ouest de Londres) et d'Edimbourg ont des collaborations intenses avec les entreprises installées dans leur "parc scientifique".

E- France

La France a, depuis juillet 1982 un "programme mobilisateur" pour la "Maîtrise du développement de la filière électronique". Plus de 2,5 milliards de francs en 1982 et 3,5 milliards en 1983 ont été investis dans ce programme par le gouvernement. Dans son ensemble, cette filière met l'accent sur le matériel, et l'intelligence artificielle ne semble pas avoir été identifiée comme un sous-système de recherche qui aurait besoin d'une cohérence interne. Alors, la France n'a pas de programme de recherche en intelligence artificielle semblable à celui des trois pays précédents. Les développements y sont toutefois nombreux et l'Etat y joue une grande part.

Ainsi, l'entreprise d'Etat CII-Honeywell Bull est associée avec une entreprise britannique et une autre allemande dans l'Institut de recherche en traitement de l'information. Une autre entreprise d'Etat, Elf-Aquitaine, a développé un système expert pour l'exploration pétrolière (DRILLING ADVISOR) mais en a confié la réalisation à la compagnie californienne Teknowledge, tandis que Schlumberger, une multinationale avec siège social à Paris développait un système semblable avec son propre personnel (DIPMETER ADVISOR).

D'ailleurs, Bull, via sa filiale Transac, a hérité de l'équipe des chercheurs du projet Kayac en bureautique, ainsi que de la technologie développée et même d'un projet conjoint de coopération européenne, dans le cadre d'ESPRIT, avec des universités belges et hollandaises notamment (65).

La recherche sur les sytèmes de traitement linguistique est depuis plusieurs années en France un domaine important. D'abord, au niveau de la reconnaissance de la parole, le système ESOPE de l'Université d'Orsay, le KEAL du Centre national d'étude des télécommunications de Lannion, le PROVOX de l'Agence nationale pour le développement de la production automatisée, et d'autres (65). Les systèmes d'"analyse automatique du discours" ont aussi été l'objet de travaux de recherche universitaire, en particulier au Groupe de recherche en analyse de discours de Grenoble et au Laboratoire d'informatique des sciences de l'homme à Paris.

Plus récemment, les systèmes experts ont été l'objet d'une attention accrue. Le Laboratoire de recherche informatique d'Orsay a développé des moteurs d'inférences, ZERO + et TANGO, aux fins de l'enseignement assisté par ordinateur tout particulièrement. Le milieu de la recherche médicale est actif dans le développement de systèmes experts: l'Université Pierre et Marie Curie et le CHU de la Pitié-Salpétrière dans le diagnostic de l'hypertension et des accidents vasculaires avec SAM, l'Université de Marseille et le diagnostic des ictères avec SPHINX. De son côté, l'Université Paul Sabatier de Toulouse s'intéresse au contrôle des robots, de même que l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (66).

F- Autres pays européens

L'URSS et d'autres pays d'Europe de l'Est auraient des programmes de recherche en intelligence artificielle (67). On connaît du moins un environnement de programmation en PROLOG qui est vendu par la Hongrie aux Japonais, aux Britanniques et aux Allemands sous le nom de M-PROLOG, qui a été développé entre 1979 et 1982 à l'Institut de coordination des techniques informatiques de Budapest (68).

Outre des recherches de pointe menées plus isolément, par exemple en Suède à l'Université d'Uppsala, ou en Espagne à l'Université de Madrid, c'est l'Allemagne de l'Ouest qui semble le plus avancé parmi les autres pays européens. Rappelons que c'est dans la région de Munich que sera situé le nouvel Institut de recherche en traitement d'information auquel Siemens participe. L'Université de Hambourg a par ailleurs été subventionnée depuis 1980 par le gouvernement ouest-allemand pour son projet HAM-ANS (Système en langue naturelle axé sur les applications de Hambourg). Le système comporte une interface de dialogue en allemand et un système relationnel de base de données. Il est écrit en LISP. Trois grandes applications ont été développées: un système de réservation de chambre d'hôtel, un SGBD relationnel sur les pêcheries, et un système d'analyse des séquences d'images utilisé notamment dans le contrôle du trafic routier (69).

CHAPITRE 6

RECHERCHE-DEVELOPPEMENT AU CANADA ET AU QUEBEC

Le gouvernement fédéral dépense, depuis une vingtaine d'années, quatre ou cinq fois plus que les provinces pour la recherche, et il veut de plus en plus intervenir pour orienter la recherche vers des "secteurs prioritaires" (71). Plusieurs éléments de la situation canadienne sont donc utiles à la compréhension de la situation au Québec.

A- Situation au Canada

Il y aurait quelque 130 personnes qui font de la recherche en intelligence artificielle au Canada, la plupart dans les universités (72). La CSCSI (Canadian Society for Computational Studies of Intelligence) est une association de recherche qui regroupe surtout des informaticiens, des mathématiciens et des ingénieurs en électronique, mais aussi quelques psychologues, linguistes, et gens d'autres disciplines. Une enquête que cette association menait à l'hiver 1984 auprès de ses membres a été utilisée pour tracer un portrait de la recherche en intelligence artificielle à partir de la centaine de profils individuels obtenus.

Selon cette enquête (73), l'Université de Colombie Britannique et l'Université de Toronto ont les équipes de professeurs qui excellent le plus. La première concentre beaucoup d'efforts sur l'interprétation des messages visuels (photos prises par satellite). Quant à l'Université de Toronto, elle s'intéresse aux systèmes experts en médecine, à la reconnaissance visuelle, et à la représentation du savoir particulièrement dans les systèmes de gestion de base de données (création du système expert TAXIS mentionné au quatrième chapitre).

Viennent ensuite quatre universités qui ont un intérêt important:

- l'Université Simon Fraser (Colombie Britannique) qui a un laboratoire sur l'interaction personne-machine en langue naturelle,
- l'Université d'Alberta à Edmonton qui a des intérêts très diversifiés,

- l'Université Western Ontario à London qui a son centre de science cognitive,
- l'Université McGill à Montréal qui s'intéresse surtout à la reconnaissance visuelle.

Enfin, il y a un dernier groupe d'universités avec une recherche moindre mais substantielle en intelligence artificielle: Victoria (systèmes experts), Calgary (relations personne-machine), Saskatoon (résolution de problèmes, applications pédagogiques), Manitoba (robotique), Waterloo (programmation logique), Queens à Kingston (reconnaissance visuelle), Carleton à Ottawa et l'Université d'Ottawa (programmation logique), Concordia à Montréal (reconnaisance de parole), l'Université de Montréal (traduction), Acadia en Nouvelle-Ecosse (programmation logique).

L'enquête a également permis d'identifier quelques organismes publics et privés faisant de la recherche en intelligence artificielle:

- le Conseil de Recherche d'Alberta (systèmes experts)
- un laboratoire du Conseil national de recherche à Ottawa (reconnaissance visuelle)
- le centre de Recherche Bell-Northern à Ottawa (interaction personne-machine). Un groupe de quinze chercheurs a été mis sur pied en 1984.
- deux compagnies de Vancouver, Dogwood Artificial Intelligence Inc. et Smithers Inc. (systèmes experts)
- les firmes Mitel Corp. (Kanata Ontario) et Spar Aerospace (Toronto) ont un intérêt croissant.

En termes internationaux, le Canada n'est pas très fort. Le total de chercheurs canadiens est à peu près égal à celui qu'on peut trouver à l'Université Stanford à elle seule. Quand même, dans la foulée de son rapport, Préparons la société informatisée. Demain il sera trop tard, le Conseil des sciences du Canada organisait en janvier 1983 à Ottawa un atelier sur l'intelligence artificielle réunissant une soixantaine de participants en provenance des universités, des entreprises, et d'organismes du gouvernement fédéral (74). Les idées prévalant

étaient d'accroître l'aide de l'Etat à la recherche en intelligence artificielle, et de créer un ou quelques centres de recherche spécialisé(s) où la recherche serait plus appliquée, réalisée en collaboration avec le secteur privé.

Le Conseil de recherche en sciences naturelles et génie est l'organisme subventionnaire qui a le plus soutenu la recherche en intelligence artificielle via sa section "science de l'informatique". La subvention moyenne est de 21 000 dollars dans cette section, mais la proportion du budget (895 000 dollars en 1984-1985) qui va à des projets en intelligence artificielle n'est pas connue.

Une nouvelle source de financement est apparue en 1983. Le "Canadian Institute for Advanced Research" (C.I.A.R.) s'est en effet engagé à supporter trois laboratoires oeuvrant en reconnaissance visuelle sous des angles complémentaires: l'Université McGill (vision et contrôle), l'Université de Toronto (vision et représentation du savoir) et l'Université de Colombie Britannique (télé-observation ou "remote sensing"). Le C.I.A.R. est une fondation supportée par de grandes entreprises privées canadiennes dont plusieurs en ressources naturelles et dont la stratégie officielle est de choisir et d'appuyer des centres d'excellence en recherche au Canada, particulièrement en matière de perception visuelle et robotique.

Un autre organisme important pour l'orientation de la recherche en intelligence artificielle au Canada est le Conseil national de la recherche. De concert avec le C.I.A.R., cet organisme fédéral a organisé en 1984 à Ottawa, un séminaire de deux jours (27 et 28 mars) semblable à l'atelier de janvier 1983, mais centré plus précisément sur l'élaboration de propositions pour un projet d'ordinateur de cinquième génération au Canada. Une rencontre de chercheurs avait été organisée du même coup pour le 29 mars sur le même sujet.

Quinze personnes provenaient du Québec et une cinquantaine de l'Ontario sur les quelque 100 participants universitaires. Une trentaine de personnes du milieu des entreprises assistaient aux délibérations.

Les propositions discutées ce jour-là étaient fort variées. Il y avait ceux qui voyaient la priorité dans l'architecture de microprocesseurs spécialisés pour le traitement en parallèle dans les structures non séquentielles qui sont caractéristiques des logiciels d'intelligence artificielle. (Le Conseil de recherche en sciences naturelles et génie finance d'ailleurs un effort pan-canadien de recherche sur la conception de tels circuits intégrés, et a organisé une conférence à Calgary en août 1983 sur ce sujet).

Il y avait ceux, plus nombreux, qui voulaient mettre la priorité sur les logiciels. Chez ces derniers, quelques-uns préféraient PROLOG à LISP eu égard aux bases de données relationnelles, un autre plaidait pour l'approche de la psychologie cognitive, d'autres voulaient qu'on cherche des objectifs concernant des applications réalisables à court terme. D'autres évoquaient des thèmes plus vastes comme la représentation du savoir.

Quelqu'un a fait état de certaines des conclusions d'un rapport confidentiel préparé pour le Ministère des Communications d'Ottawa et le Secrétariat d'Etat par Cognos Inc. d'Ottawa. Le rapport recommanderait l'établissement d'un réseau électronique canadien pour la recherche en intelligence artificielle et un accroissement de l'aide à la recherche universitaire sans modifier la structure de financement existante, en exerçant un rôle d'encouragement à la coopération, qui ne se produirait pas autrement, que ce soit entre des disciplines, entre les universités, et entre le milieu universitaire et celui des entreprises.

Une proposition de créer une "Société canadienne de projet d'ordinateur de cinquième génération" composée des personnes présentes a été adoptée. La fonction principale serait de conseiller le gouvernement fédéral. Il a été entendu que les participants présents biaisaient la Société en faveur des informaticiens, surreprésentés relativement à leur proportion dans l'ensemble des chercheurs universitaires intéressés au domaine. Un comité provisioire a été formé de cinq personnes: Eric Manning de l'Université de Waterloo, John Mylopoulos et Richard Holt de l'Université de Toronto, Nick Cercone de l'Université Simon Fraser, et Jean Vaucher de l'Université de Montréal.

Le comité a pour mandat de préparer des propositions pour un plan de recherche sur 8-10 ans en intelligence artificielle. Le plan doit identifier les grandes étapes de développement du projet, les lieux de recherche choisis, les besoins en équipement spécialisé, et l'identification des niches à court terme et à long terme: outils de construction de systèmes experts, réseau télématique, enseignement assisté par ordinateur, traduction, CAO/FAO, compréhension de la langue naturelle, robotique, etc. Aucune échéance précise n'a été donnée au comité.

Le comité s'est toutefois donné un plan d'action (75). Il a invité les membres de la "Canadian Society for Fifth Generation Research" à lui soumettre des propositions préliminaires d'équipes de recherche pour le 15 juillet 1984. Le comité doit alors utiliser ces propositions comme base pour la rédaction d'un brouillon de plan canadien de recherche devant faire l'objet de consultation auprès des membres en août en vue de la présentation d'un plan final soumis au gouvernement fédéral en septembre. Si le plan devait être accepté par le gouvernement, les chercheurs pourraient obtenir des fonds en détaillant leurs propositions de l'été auprès du Conseil de recherche en sciences naturelles et génie du Canada.

L'atmosphère qui règne dans ce milieu en est un de grande confiance que les gouvernements et le secteur privé sont prêts à investir dans la recherche en intelligence artificielle, cela étant perçu comme une nécessité pour affronter la concurrence des autres pays industrialisés. C'est au cours de l'année 1984 et de la suivante que devraient être spécifiées les grandes orientations pour la recherche au Canada dans ce secteur.

B- Situation au Québec

Le "virage technologique" n'est pas facile à prendre dans les universités. Les restrictions budgétaires ont affaibli les capacités d'adaptation de l'enseignement et de la recherche universitaire pour engager de nouveaux professeurs, recycler le personnel, acheter de l'équipement. En particulier deux catégories de diplômés précieux pour

la recherche en intelligence artificielle sont très faibles: en 1980, il n'y a eu au Québec que trois doctorats en génie électrique et deux en informatique, contre 40 et 18 respectivement en Ontario.

Mais la réponse au défi du processus d'informatisation ne peut être élaborée que progressivement dans l'interaction entre les grands acteurs sociaux, et cette réponse implique une structuration d'expertises exigeant des années d'apprentissage. Il faut "tailler dans du neuf"; il n'y a pas de guide sûr. Le gouvernement favorise la création de centres de recherche où les universitaires pourront chercher des façons d'augmenter l'intérêt socio-économique dans leurs problématiques de recherche. Ça semble une bonne idée d'intervenir sur la structuration des échanges par la création de nouveaux réseaux dans le monde du travail intellectuel entre le milieu des affaires et le milieu universitaire. Des six centres de recherche prévus, quatre peuvent directement participer à un programme de recherche en intelligence artificielle:

- applications pédagogiques
- bureautique
- télématique
- graphisme.

La recherche en intelligence artificielle au Québec est susceptible d'impliquer aussi le nouveau Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail, un laboratoire du Conseil national de la recherche implanté à Ville de Laval, ainsi qu'un éventuel Centre interuniversitaire de recherche en communication de Montréal. On peut aussi s'attendre à l'initiation de plusieurs nouveaux projets en intelligence artificielle par les universitaires intéressés à développer les 40 nouvelles équipes de recherche prévues au plan d'action gouvernemental pour les universités, ou encore les subventions de 150 mille dollars à "des unités universitaires performantes dans leur liaison avec l'industrie", ainsi que les prêts de professeurs et de chercheurs universitaires aux entreprises (76).

Mais l'institution-clé d'un éventuel programme de recherche en intelligence artificielle pourrait être le Centre de recherche informa-

tique de Montréal (C.R.I.M.). Le C.R.I.M. se veut un pont entre l'université et l'industrie grâce à un mécanisme de comité scientifique composé de représentants des chercheurs universitaires et de représentants des entreprises. Ce comité scientifique aurait pour tâche de définir les priorités de recherche. Le CRIM est un nouveau regroupement axé sur l'enseignement et la recherche en informatique de pointe à Montréal et rassemblant les institutions suivantes: universités de Montréal, McGill, Concordia, l'UQAM, l'Ecole Polytechnique, INRS-Télécommunications.

La préparation du projet du C.R.I.M. a débuté il y a deux ans à la suite d'une demande du Ministère de l'éducation aux universités de Montréal pour qu'elles coordonnent leurs études graduées en vue d'offrir le doctorat en informatique en s'échangeant des ressources professorales et de recherche. La concertation universitaire a donc produit un résultat plus large que le mandat; ce qui se justifiait aisément étant donné la difficulté de dissocier l'enseignement et la recherche dans le processus intégré de transmission et de création de connaissances qu'on retrouve au niveau des études de deuxième et troisième cycles [ou supérieures].

D'ailleurs, c'est là une des sources importantes des difficultés à spécifier une structure pour le C.R.I.M. qui satisferait aux critères parfois opposés de la valeur d'un type de projet selon qu'on l'évalue dans la perspective de l'enseignement ou dans celle de la recherche. En effet le C.R.I.M. est beaucoup plus qu'une structure de coordination pour les études supérieures en informatique, mais il se veut également l'institut de recherche appliquée en informatique recommandé par un comité du Conseil de la science et de la technologie du Québec.

Le Conseil des universités a d'ailleurs exprimé des inquiétudes sur la qualité du support à la formation des chercheurs que représente la dernière proposition du C.R.I.M. sur ses orientations et sa structure. En conclusion de son avis au Ministère de l'Education, le Conseil recommande d'accepter le projet (77).

Dans un avis antérieur sur la version précédente du projet du C.R.I.M. (janvier 1983), le Conseil avait refusé ce projet en se proposant de conduire, dans les meilleurs délais, une étude devant permettre de voir plus clairement l'état et les besoins de développement de la recherche et des études avancées en informatique. Mais au moment de son avis de 1984 sur le projet reformulé du C.R.I.M., le Conseil n'avait pas encore réalisé cette étude. Notamment, il n'a pu formuler aucun commentaire direct sur les priorités de recherche retenues dans le projet, se contentant à cet égard de noter qu'elles se situent en informatique, domaine identifié comme prioritaire par le Ministère de la science et la technologie ainsi que par le Conseil de la science et de la technologie du Québec.

Le C.R.I.M. a fait un important effort de rationnalisation dans le choix de ses priorités de recherche (78). Il a eu recours à une combinaison de trois critères présentés sommairement ci-après.

a) Examen de la recherche de pointe actuelle: en matière de recherche appliquée, l'informatique s'oriente surtout vers les "ordinateurs de cinquième génération" et comprend les six importants domaines suivants:
   - les circuits intégrés à très grande échelle
   - l'architecture électronique pour le traitement en parallèle
   - la télématique
   - le génie du logiciel
   - les interfaces personne-machine
   - l'intelligence artificielle comprenant elle-même:
     - la structuration et la manipulation des connaissances
     - les systèmes experts
     - le traitement de langue naturelle (traduction, interface pour SGBD ou tout logiciel)
     - la preuve de théorème et la déduction automatique
     - la robotique.

b) Intérêts actuels des chercheurs:
   Un questionnaire complété par quelque 40 chercheurs montréa-

lais en informatique et en génie a permis d'obtenir l'ordre suivant quant aux sujets qui intéressent le plus les chercheurs:

- le génie logiciel
- les interfaces personne-machine
- l'intelligence artificielle
- la télématique
- l'architecture en parallèle
- les circuits intégrés à très grande échelle.

c) Besoins de notre société:

Notre société est dans la course à l'informatisation pour la croissance de la productivité et elle a besoin d'appareils, de logiciels et d'experts particulièrement en matière de CAO pour concevoir de nouveaux produits, de FAO pour réduire les coûts de fabrication, et de bureautique.

Ayant ainsi découpé et hiérarchisé le champ de la recherche en informatique, le document conclut cette section en identifiant les six priorités de recherche suivantes (pp. 17-18):

- la recherche sur la CAO et la FAO, de même que sur l'architecture pour le design des circuits à très grande échelle et des circuits intégrés spécialisés pour les systèmes de communication,
- la recherche sur les aspects "logiciels" des interfaces machine, y compris le traitement des signaux,
- la recherche en intelligence artificielle conduisant à la réalisation de systèmes experts et de traitement de la langue naturelle,
- le développement de logiciels nécessaires pour répondre aux besoins de nos industries (CAO, FAO, bureautique),
- la recherche des moyens pour "automatiser" la production de logiciels,
- la recherche sur les aspects de la télématique touchant la transmission de données numériques et les systèmes répartis.

Par rapport à l'analyse antérieure, cette liste de priorités est une élégante intégration des éléments. Cependant, quelques critiques doivent être adressées à cette analyse.

D'abord, l'identification des intérêts des chercheurs a été effectuée auprès d'un échantillon inadéquat. Hors les départements d'informatique, il apparaît un peu arbitraire que seuls les départements de génie (électrique surtout) aient été inclus dans l'échantillon. Cela s'explique sans doute par la structure actuelle des réseaux informels de chercheurs. Mais ce biais en faveur du matériel n'est pas sans impact sur le profil d'intérêts obtenu. Dans l'état actuel de l'évolution de l'informatique, la recherche de pointe en informatique se déplace de plus en plus vers des équipes d'autres disciplines encore souvent considérées comme marginales comme la linguistique, les sciences humaines et les sciences sociales. N'en est-on pas en effet à une étape où le logiciel est devenu assez puissant et accessible et que la difficulté est d'y intégrer des "connaissances sur le monde"? Dès lors, ne faut-il pas une multiplicité d'expertises sur le monde? En ce sens, le domaine couvert par l'intelligence artificielle aurait peut-être pu prendre plus d'importance dans les priorités si un plus large éventail de disciplines avait été couvert. Un peu lapidairement, on peut dire que l'enquête a regardé dans le rétroviseur montrant le "chemin de terre" de la dernière décennie en informatique, alors qu'il aurait fallu braquer le téléscope sur l'autoroute que devient l'informatique, empruntée par tous les champs de savoir pour réduire leurs coûts d'obtention, de traitement, de conservation et de repérage de l'information.

Cette première critique conduit à une seconde qui a trait à une sous-estimation de l'influence de l'informatique dans l'ensemble de la recherche et de la pédagogie universitaires. Je ne reprends pas ici l'argument du Conseil des universités (op. cit.) qui s'inquiète pour la primauté de la vocation académique du C.R.I.M. en raison de l'importance du rôle accordé à son comité scientifique réunissant industries, universités et gouvernements pour établir des priorités de recherche en informatique. Ce qui est cause au plan pédagogique, c'est aussi le fait qu'il n'y a pas que l'industrie et les bureaux qui ont besoin de plus de productivité, mais également l'université elle-même dont la performance semble de moins en moins adéquate dans la formation intellectuelle et technologique des jeunes étudiants et des adultes en perfectionnement et recyclage. Or l'informatisation affecte la constitution même du savoir

dans plusieurs disciplines (géologie, psychologie, linguistique, etc.). Il est donc important que quelqu'un diffuse les connaissances (particulièrement les concepts et techniques d'intelligence artificielle) qui favoriseront le recyclage des professeurs et des chercheurs universitaires de presque toutes les disciplines. En particulier, il faut diffuser des connaissances sur les environnements de programmation existants qui permettent d'utiliser les langages scientifiques habituels sans avoir à connaître un paquet de règles pour écrire fastidieusement des "lignes de code". Les diverses applications doivent être mieux connues: modélisation, analyse automatique de discours, la rédaction de didacticiels, la constitution de systèmes experts de tous types et degrés de complexité.

Enfin, une critique d'un autre ordre peut être faite de l'interprétation qui est faite des besoins de notre société. En retenant trop exclusivement la recherche de productivité accrue, la vision de la société se cantonne à l'aspect économique. L'aspect culturel est notamment ignoré et le problème particulier que l'informatisation pose à la spécificité francophone du Québec n'est même pas mentionné alors que la mission de l'Université a une importante composante culturelle. Nous reviendrons sur ce point un peu plus loin.

Après ces quelques remarques qui ont surtout trait à l'établissement des nouvelles priorités de recherche, il convient de noter que le projet du C.R.I.M. est fort bien développé quant à la collaboration université-industrie ainsi que par rapport aux deux niveaux de gouvernement. Une réserve seulement à ce sujet: si le C.R.I.M. a raison de consulter le Conseil du Patronat et la Chambre de commerce, il devrait aussi se préoccuper des centrales syndicales dont les préoccupations sociales (ergonomie, qualité de vie au travail) doivent aussi être prises en compte en complément des visées économiques des premiers dans un programme de recherche.

Initialement, le C.R.I.M. a été conçu par trois universités: Concordia, McGill et Montréal. En octobre 1983, l'Ecole polytechnique s'y est jointe et, en décembre 1983, l'UQAM. Les annuaires des universités et quelques autres sources d'information permettent de dresser un

tableau, incomplet certes, des activités des universités dans des domaines d'étude reliés à l'intelligence artificielle.

- Université McGill
  - 11 chercheurs (6 en informatique et 5 en génie) sont sur la liste du C.R.I.M. (voir 78, annexe D).
  - Laboratoire de recherche en vision et contrôle soutenu notamment par le C.I.A.R. En organisant, du 30 juillet au 2 août 1984, la Septième conférence internationale en reconnaissance de formes ("pattern recognition"), l'Université McGill et les professeurs Steven W. Zucker et Martin D. Levine ne font que confirmer l'excellence de leur centre de recherche.
  - Plusieurs cours pertinents à la formation des chercheurs en intelligence artificielle:
    - en informatique:
      - structures d'information
      - langages de haut niveau
      - reconnaissance de formes
      - problème de recherche en parallèle
    - en génie électrique:
      - communication par la parole
      - traitement de l'image et communication
      - la CAO et la simulation de circuits électroniques
      - intelligence artificielle
      - vision par ordinateur

- Université Concordia
  - 20 chercheurs (12 en informatique, 7 en génie électrique, et 1 en génie mécanique) sont sur la liste du C.R.I.M.
  - Chercheurs de calibre international en reconnaissance et synthèse de parole, Renato De Mori et Ching Y. Suen sont impliqués dans l'organisation et les présentations de la conférence internationale en reconnaissance de formes déjà mentionnée.
  - Plusieurs cours pertinents à la formation des chercheurs en intelligence artificielle au département d'informatique:

- introduction à la théorie des automates
- traitement linguistique
- langages de programmation avancés
- design de langage informatique
- introduction à l'intelligence artificielle
- communication personne-machine
- reconnaissance de formes et traitement d'image
- intelligence artificielle, cours avancé.

- Ecole polytechnique
  - sorte de faculté de génie de l'Université de Montréal, 8 chercheurs (7 en génie électrique et 1 en génie industriel) sont sur la liste du C.R.I.M.
  - F. Lamarche et R. Plamondon contribueront au congrès international déjà mentionné avec leurs travaux en analyse des signatures.
  - Un nouveau programme d'étude en "génie de l'informatique" est à l'étude en 1983-84.

- Université de Montréal
  - 6 chercheurs en informatique sont sur la liste du C.R.I.M.
  - quelques chercheurs chevronnés en traduction automatique (succès de TAUM-Météo) se trouvent au département de linguistique.
  - le laboratoire de phonétique, notamment Laurent Santerre, mène des travaux de recherche majeurs depuis plusieurs années sur la synthèse de la parole.
  - George Baylor du département de psychologie étudie, avec les concepts et méthodes d'intelligence artificielle, les mécanismes qui sous-tendent les rêves et rêveries.
  - le département d'informatique offre quelques cours: langages spécialisés, reconnaissance des formes, linguistique computationnelle, et LISP, PROLOG et intelligence artificielle.
  - Un groupe de recherche, "Incognito", s'intéressant à la science cognitive a été formé en 1984 au département d'informatique.

- Université du Québec à Montréal

  - La liste du C.R.I.M. ne comprenait pas encore de chercheur de l'UQAM dans le document déjà cité.
  - Pierre Plante a mis au point un logiciel en LISP (Déredec) sur la base duquel un Centre d'analyse de texte par ordinateur vient d'être créé avec l'aide du FCAC.
  - De nombreux cours dans plusieurs disciplines abordent le domaine de l'intelligence artificielle: en art, en archéologie, en communication, en design, en éducation, en linguistique, et en psychologie pour ne citer que celles-là.
  - En informatique, plusieurs cours, en incluant ceux du baccalauréat, sont pertinents à l'intelligence artificielle:
    - LISP et ses applications
    - structures d'information et leurs représentations
    - évaluation de logiciel éducatif
    - résolution de problèmes
    - introduction à la simulation par ordinateur
    - théorie des automates
    - intelligence artificielle appliquée à l'enseignement.
  - En janvier 1984 commençait un nouveau programme d'études en informatique de gestion.
  - Un groupe de professeurs s'intéresse aux systèmes experts et à la compréhension de la langue naturelle.

Quant aux autres universités importantes, Sherbrooke, Trois-Rivières, Chicoutimi, Rimouski, et Laval à Québec, elles ne se trouvent pas dans le circuit du C.R.I.M., ou du moins pas encore. On y trouve effectivement peut-être moins d'effervescence en intelligence artificielle que dans les universités montréalaises, mais il y a plusieurs chercheurs et groupes de recherche ici et là en informatique, en linguistique, en sciences sociales, en éducation et en administration, où l'on s'intéresse tout particulièrement soit aux systèmes experts soit à la compréhension de la langue naturelle. A l'Université de Sherbrooke, c'est le design des microprocesseurs qui est le point fort.

Quant à l'INRS-Télécommunications, rattaché à l'Université du Québec, son étroite collaboration avec Recherches Bell-Northern trouve des champs fertiles de recherche conjointe pour le traitement de l'image et la reconnaissance visuelle ainsi que pour la reconnaissance et la synthèse de parole. Des présentations sont faites sur ces thèmes à la conférence internationale en reconnaissance de formes par MM. Eric Dubois, Birendra Prasada, Shaker Sabri et Douglas O'Shaugnessy. On voit ainsi s'esquisser la structure de la collaboration à quatre McGill-Concordia-INRS-RBN sur deux types de signaux (parole, image) faisant appel aux techniques de reconnaissance de formes.

Un portrait de la situation québécoise face à la recherche et au développement en intelligence artificielle ne saurait être complet sans faire mention des nombreuses entreprises privées. Outre Recherches Bell-Northern déjà mentionnée, il y a:

- Paramax de Montréal, filiale de Sperry-Univac, qui a obtenu un contrat militaire canadien en sous-traitance de la Saint-John Shipbuilding and Dry Dock Co. pour une valeur de 1,25 milliard de dollars canadiens (79). Paramax est responsable des systèmes électroniques des frégates comprenant des sytèmes fortement informatisés de combat naval et faisant largement appel aux techniques d'intelligence artificielle.
- Videoway, qui veut se servir du câble et du téléviseur domestique pour mettre en marché un terminal d'interface entre les usagers dans leur foyer et les fournisseurs des nouveaux services (80).
- Silicart de Montréal, appuyé financièrement par le Ministère de la science et technologie, oeuvre dans la construction d'un système expert pour la conception des circuits imprimés (81). Même si un tel système a ses concurrents, l'association avec Thinking Machines de Boston pourrait être profitable.
- Spar, Mitel, AES, CAE sont autant d'autres firmes susceptibles de mener ou d'appuyer des recherches en intelligence artificielle.
- Les firmes de consultants en informatique n'auraient encore que peu d'expertise dans les techniques d'intelligence artificielle

pour la gestion des bases de données par exemple. Quelques-unes comme CGI, DMR, IST, ATA développent des services-conseils de cette sorte depuis 1983 surtout.

CHAPITRE 7

BILAN STRATEGIQUE ET PROJET QUEBECOIS

L'intelligence artificielle est-elle vraiment importante dans les études supérieures et la recherche? Les raisons d'une réponse affirmative à cette question seront présentées afin de montrer son importance stratégique. Ensuite nous présenterons des réflexions d'abord générales puis plus spécialisées en vue de contribuer à une éventuelle stratégie québécoise de recherche-développement.

A- Importance stratégique de l'intelligence artificielle

Dans un document du Secrétariat permanent des conférences socio-économiques du Québec, La révolution informatique: subir ou choisir (82), plusieurs propos illustrent le besoin de recherche en intelligence artificielle:

- l'accès des citoyens aux connaissances (p. 7) requiert des interfaces personne-machine plus "intelligentes",
- citant l'exemple de PROSPECTOR, l'intérêt de tels systèmes pour le traitement des données géologiques (p. 13) est souligné;
- les nécessités d'un programme québécois en bureautique (p. 28) font appel à la recherche de concepts nouveaux (p. 32).

Ces références ne s'adressent pas explicitement à l'intelligence artificielle. Au tout début du rapport en effet, aussitôt après avoir ouvert la perspective d'intelligence artificielle (p. 1: "La nouvelle révolution de l'informatisation porte sur la gestion et le contrôle des activités créatives et recule ainsi les limites de l'intelligence"), les auteurs ont aussitôt limité ces propos en ajoutant dans la même phrase: "du moins quant aux quantités d'information traitées et à la vitesse d'exécution". Cette prudence du propos est compensée par la conscience du besoin de nouvelles connaissances qui évoquent l'appareil conceptuel développé en intelligence artificielle.

- p. 53: "la nécessité pour les travailleurs d'acquérir une culture scientifique et technologique plus large"

- p. 60: "familiarisation [des jeunes] avec le langage, le mode de représentation et de construction logique appelés à imbiber un large éventail d'univers de travail, de création et de recherche".

Enfin, notons que le document rejoint une critique que nous avons faite du projet du C.R.I.M. et exprime le besoin d'études comme celles du présent rapport:

> les besoins de l'informatisation exigent autant et peut-être davantage l'apport de disciplines autres que l'informatique et l'électronique, notamment dans le domaine de la gestion, des communications, de la conception des contenus, etc. La situation de la demande, en matière de ressources humaines, demeure donc imprécise, et des études sont requises pour clarifier cette question. (p. 42).

L'intelligence artificielle, plus que l'ensemble de l'informatique auquel elle se rattache, est un domaine qui se situe à la confluence de deux grandes filières: la filière électronique et la filière documentaire. L'idée de "filière" enchaîne des industries en fonction de la consommation finale et sert de base à la réflexion sur leur maîtrise stratégique (83). Si la filière du matériel électronique est moins accessible parce qu'intégrée à un système militaro-industriel international, la filière documentaire est beaucoup plus ouverte.

La filière documentaire s'appuie sur la cueillette de données et la création d'information diffusées par les médias ou emmagasinées dans des banques de données et des logiciels. Les renseignements et les services sont représentés et traités de façon à en faciliter l'accès au moment désiré et à un coût concurrentiel, une multiplicité d'intermédiaires pouvant intervenir pour le développement et la mise en marché des nouveaux produits informationnels. Dans cette filière documentaire, l'importance du problème des structures symboliques de représentation et de manipulation et le précieux apport de l'intelligence artificielle à ce niveau mettent en lumière l'envergure stratégique de cette dernière.

Pourtant la filière documentaire est sous-estimée encore souvent. Ainsi, au Canada, les crédits d'impôt pour la recherche-développement ne sont pas accordés à la recherche en sciences humaines et sociales (84). Cette anomalie fiscale est probablement due à une incompréhension de la nature profonde du virage technologique dont le Secrétariat des conférences socio-économiques semble plus conscient (op. cit., p. 6):

> [Pour] celles et ceux qui ont et auront à vivre l'insertion des nouvelles technologies dans leur milieu de travail [...] l'enjeu est de taille et les exigences de santé, de sécurité et de recyclage ainsi que la qualité des emplois apparaissent comme des "contraintes" aussi fondamentales que celles de la technologie et de la concurrence économique.

Les contraintes humaines et sociales doivent donc être intégrées au processus de recherche.

D'ailleurs, l'évolution des logiciels facilite de plus en plus la contribution des sciences humaines et sociales pour intégrer leurs connaissances aux programmes informatiques. Les environnements de programmation sophistiqués, les outils de construction de systèmes experts et les outils de construction initiale ou d'utilisation d'une base de données améliorent la situation des chercheurs non informaticiens comme le sont en général ceux des sciences humaines et sociales. Ils peuvent désormais entrer eux-mêmes leurs connaissances sous forme de "règles" comme dans une automobile louée plutôt que d'avoir à la bricoler au complet comme cela se faisait traditionnellement par l'intermédiaire des analystes et programmeurs qui les éloignaient ainsi de la compréhension des techniques sous-jacentes à leurs opérationnalisations de concept dans l'analyse des données.

Un rappel sommaire des besoins que la recherche en intelligence artificielle doit contribuer à satisfaire permet de montrer son importance stratégique:

- l'informatisation des administrations publiques et des entreprises du tertiaire avec une meilleure conceptualisation et de meilleurs logiciels pour les SGBD;

- le développement de la télématique grand public et les exigences d'interfaces plus souples permettant à l'usager d'utiliser les termes et les enchaînements logiques qui lui sont familiers;
- le besoin de structures de représentation et de "moteurs d'inférences" pour la construction de systèmes experts dans plusieurs spécialités;
- l'importance des concepts de l'informatique comme outils intellectuels favorisant la formalisation et la participation à une nouvelle science cognitive interdisciplinaire;
- le besoin des chercheurs francophones ainsi que de l'ensemble des usagers francophones, que ces nouveaux outils intellectuels puissent être utilisés dans leur langue maternelle.

B- Réflexions en vue d'un projet québécois

La mauvaise position actuelle de la langue française dans le monde de l'informatique suscite des inquiétudes mais aussi des pistes d'action (85). Face à la domination actuelle de la langue anglaise, l'intelligence artificielle offre à la langue française un terrain de bataille à la fois économique et culturel par ses questions de recherche liées à la compréhension de la langue naturelle, si c'est le français qui est développé.

Dans une présentation au congrès de l'Association de recherche en communication du Québec en avril 1984, je fournissais cinq raisons pour privilégier la compréhension du français - langue naturelle - dans la recherche de pointe liée à l'informatique au Québec (86, pp. 8-9):

- Les questions de langue et de culture françaises dans le contexte nord-américain ont une grande importance socio-politique;
- la force relative de la recherche universitaire dans le domaine de la langue au Québec, notamment le logiciel Déredec;
- la compréhension du français est peut-être un créneau que les Américains et les Japonais ne nous raviraient pas dans le marché international du logiciel; la collaboration franco-québécoise existe d'ailleurs dans la recherche avec le logiciel Déredec;

- la compréhension de la langue naturelle est un axe de recherche qui intéresse de nombreuses disciplines comme la philosophie, la linguistique, la psychologie, la sociologie, l'anthropologie, la sémiologie, etc., à la fois en raison des questions fondamentales qui se posent un peu différemment dans chaque discipline et en raison de l'interdisciplinarité qu'un objet d'étude commun permet;
- les interfaces en français ont un terrain riche en applications dans les bureaux et les foyers à mesure que l'informatisation y progressera.

Evidemment, il ne suffit pas de choisir les priorités, il faut aussi établir quelles sont les règles financières qui en découlent. Cela est du ressort des diverses sources de soutien à la recherche qui entreprendront des actions complémentaires ou contradictoires selon le degré de succès de leur concertation. J'aimerais quand même commenter la place de cette proposition de priorité par rapport à celles de deux autres participants:

- dans les priorités définies par le C.R.I.M., la compréhension de la langue naturelle jouxte les systèmes experts dans la sixième priorité. Je suggère d'y donner beaucoup plus d'importance, c'est-à-dire d'accorder plus de poids à la recherche d'une nouvelle priorité à développer par rapport au portrait actuel des compétences rassemblées par le C.R.I.M. L'intégration tardive de l'UQAM au C.R.I.M. n'a pas beaucoup aidé à cet égard et l'axe Concordia-McGill en perception (ou reconnaissance de formes) produit une dominance des intérêts de recherche des chercheurs anglophones, du moins dans le projet du C.R.I.M. selon la version de décembre 1983 déjà citée. La priorité à la compréhension de la langue naturelle aurait pour effet indirect de renforcer l'axe UQAM-Université de Montréal qui regroupe surtout des chercheurs francophones.
- par rapport au gouvernement fédéral, une priorité québécoise à la compréhension du français comme langue naturelle permettrait d'éviter une répétition du projet TAUM (Traduction automatique, Université de Montréal) qui s'attaquait au problème plus étroit de la traduction automatique. Or il y a des bruits qui courent en ce sens. Ainsi Arthur Cordell (87) du Conseil des sciences

> du Canada, envisageant un projet qui répond à un besoin national, cite la traduction automatique. Nous avons en effet plusieurs spécialistes au Québec formés au projet TAUM et il y a des opportunités en traduction (88).

La traduction automatique n'est qu'un des champs d'application dans le traitement de la langue naturelle, et sûrement un des plus difficiles scientifiquement comme on l'a vu au quatrième chapitre, et un de ceux dont la croissance des applications commerciales est la plus éloignée dans le temps. Alors si le Secrétariat d'Etat veut se remettre à financer la recherche en traduction automatique, cette contribution viendra s'insérer dans un programme de cohérence plus vaste. D'ailleurs, plutôt que de faire des programmes de traduction à sens unique de l'anglais vers le français, il serait préférable de travailler aussi sur la traduction du français vers l'anglais en ayant à l'esprit que c'est une condition favorable à l'exportation de produits d'information et de logiciels faits en français vers le monde anglophone.

C- Une hypothèse

Dans cette dernière partie du dernier chapitre, j'en profite pour avancer des idées plus personnelles, des choix parfois moins bien documentés que dans le reste de ce rapport. D'où le titre, "Une hypothèse", sous lequel je rassemble un certain nombre de pistes pour transposer dans le concret ma proposition de priorité au problème de compréhension du français comme langue naturelle. Je ne voudrais pas ainsi nuire aux idées mêmes que j'essaie de défendre. C'est pourquoi il serait nécessaire de les prendre comme des hypothèses à vérifier au moyen d'études plus poussées.

L'évolution actuelle des logiciels est un vaste procédé d'intégration, dans des programmes, de "fonctions" qui constituent une certaine représentation du monde sous forme de règles spécifiant les enchaînements dans ces structures. Si ces fonctions ont des structures compatibles, communicantes, si elles peuvent être combinées efficacement en ajoutant leurs effets utiles les unes aux autres, des efforts de pro-

grammation jusque là isolés, en viennent à pouvoir contribuer à des projets de programmation plus grands et plus systématiques. D'où l'idée des manufactures de logiciels essayée au Japon. La synergie de divers projets semble donc liée à l'usage d'outils communs sous forme par exemple de moteurs d'inférence ou d'outils d'analyse de la langue naturelle.

Dans ce cas des outils d'analyse de la langue naturelle, le logiciel Déredec mérite d'être développé de façon prioritaire en recherche. Déredec peut être vu comme un environnement de programmation qui facilite certains usages du LISP en définissant un ensemble de fonctions utiles pour le traitement du français en tant que langue naturelle. Déredec comprend divers progiciels évidemment compatibles entre eux. Le plus utilisé est la G.D.S.F. (Grammaire de surface du français) qui comprend 1 800 règles dans ses 60 fonctions. La G.D.S.F. agit comme un décompositeur (ou "parser"): après avoir assigné des catégories à chaque élément grammatical d'une phrase à l'aide d'un dictionnaire, le programme cherche à déterminer les relations grammaticales contribuant à en composer le sens. Un autre progiciel intéressant est APLEC (Apprenti-lecteur) qui permet de bâtir rapidement un système d'interrogation question-réponse sur un texte grâce à une certaine capacité d'apprentissage des équivalences sémantiques couplée au décompositeur G.D.S.F.

Depuis 1975 qu'il existe, le logiciel Déredec a été adopté par plusieurs chercheurs de diverses disciplines, par exemple:

- mise au point de didacticiels avec vocabulaire libre (Jean-Guy Daoust, professeur de philosophie au CEGEP Maisonneuve),
- interface de programmation en langue naturelle (Lorne Bouchard, professeur en informatique à l'UQAM),
- dictionnaire des primitives morpho-sémantiques du français (Suzanne Bertrand-Gestaldi, bibliothéconomiste),
- analyse du discours politique, analyse des histoires racontées par des enfants, au moins une vingtaine de recherches faisant appel à l'analyse de texte par ordinateur ont eu recours au logiciel Déredec dans diverses universités québécoises et aux Etats-Unis (Chicago).

En France, l'intérêt pour Déredec est considérable à au moins deux endroits: à l'Université de Grenoble où M. Alain Lecompte mène d'importants travaux visant à améliorer la compétence de la GDSF dans les ajustements internes programmés pour réagir "intelligemment" à certains raisonnements formels et non-formels tels qu'exprimés en français. Egalement importantes sont les recherches menées par Jacqueline Léon et Jean-Marie Marandin du Laboratoire d'informatique en sciences humaines de Paris visant à une meilleure "compréhension" programmée des pronoms dans les liens entre phrases.

Déredec soulève l'engouement au Québec et ailleurs, et la recherche pour développer ce logiciel doit être soutenue bien au-delà de ce que le nouveau Centre d'analyse de texte par ordinateur a reçu. L'évaluation devant conduire à une augmentation du soutien au développement de Déredec pourrait prendre en compte les questions suivantes:

- potentiel de Déredec comme outil de recherche dans diverses disciplines pour la réalisation des analyses de contenu,
- potentiel de Déredec pour des applications commerciales: systèmes d'aide à l'analyse de contenu pour diverses catégories d'employés dont les analystes de réponses aux questions ouvertes des sondages ainsi que les indexeurs qui préparent les entrées dans les banques de données; usage possible dans les SGBD et les nouveaux développements de bureautique; usage possible dans l'interface personne/machine pour le développement télématique,
- potentiel de Déredec pour la constitution d'un moteur d'inférence, comme outil de construction des systèmes experts, et comme support aux "langages-auteurs" pour la préparation de didacticiels.

Une telle évaluation plus approfondie est urgente parce que les années 1984 et 1985 sont des années critiques dans l'orientation de la recherche à cause des nombreux investissements nouveaux en recherche que les gouvernements fédéral et québécois vont effectuer sur la base de décisions qu'on a peu le temps de rationaliser.

CONCLUSION

L'intelligence artificielle est d'une importance cruciale dans le virage technologique: science de l'organisation des informations et des connaissances formalisables en symboles (chiffres ou concepts), elle se situe à la pointe des efforts qui peuvent permettre au Québec de participer originalement à l'ère économique de l'information et à la nouvelle culture où l'informatique aura une influence accrue. L'intelligence artificielle est donc un domaine à privilégier dans les universités pour soutenir des objectifs de développement économique et culturel.

Par rapport à l'informatique traditionnelle et ses algorithmes définis a priori, la programmation heuristique développée dans la recherche en intelligence artificielle permet aux ordinateurs de se comporter avec une souplesse comparable à l'intelligence humaine face à un domaine de problèmes progressivement plus complexes. Des techniques d'inférence et de représentation structurée des connaissances ont été mises au point et sont constamment améliorées en vue de permettre une certaine autonomie de raisonnement aux ordinateurs. Loin de réduire notre perception de l'humain à une machine, ce champ de recherche permet au contraire de mieux saisir la merveilleuse complexité de l'intelligence humaine. Ainsi, les capacités humaines de perception, d'apprentissage et d'usage de la langue voient leurs frontières perçues reculer à mesure que progresse la recherche en intelligence artificielle. L'immensité des défis posés par la programmation des prouesses de l'intelligence humaine ne décourage cependant pas la recherche en intelligence artificielle qui a choisi de s'attaquer à des objectifs plus limités avec des succès relatifs.

Au cours des dernières années, en effet, la poursuite d'objectifs plus limités dans la recherche en intelligence artificielle a permis le développement de divers domaines d'applications. Nous avons négligé les applications en robotique pour ne présenter que deux axes d'applications: les systèmes experts et les systèmes de traitement linguistique. Notre examen des principaux systèmes existants et des méthodes qui les

sous-tendent devrait aider à comprendre la forte spécialisation des besoins pour les applications d'intelligence artificielle dont le marché semble appelé à croître plus rapidement que pour le reste de l'informatique. En fait, que l'on parle des interfaces personne/machine, des logiciels et progiciels permettant d'aborder des problèmes plus complexes, ou de nouveaux langages de programmation de très haut niveau, les possibilités offertes par l'intelligence artificielle apparaissent de plus en plus comme une orientation majeure dans l'évolution de l'informatique.

C'est d'ailleurs ce qui semble motiver les énormes investissements publics et la coordination plus étroite de la recherche menée dans les universités et les entreprises privées dans les pays étrangers les plus industrialisés. Aux Etats-Unis, au Japon et dans la Communauté économique européenne, de vastes programmes de recherche ont été mis sur pied en intelligence artificielle.

Le Canada et le Québec s'apprêtent à suivre le mouvement avec enthousiasme et des ressources encore modestes. Mais en 1984, l'horizon à court et moyen termes est constellé de nouveaux investissements publics dans des domaines de recherche qui sont reliés assez directement à l'intelligence artificielle. Il est donc urgent d'identifier des orientations à cet égard, en particulier au Québec où cet ensemble de questions a fait l'objet de peu de débats ou de documents.

De telles orientations ont été proposées dans le dernier chapitre. Elles ont principalement trait:

- à la reconnaissance de l'importance stratégique de la recherche en intelligence artificielle, de son insertion dans une "filière documentaire", et de l'opportunité qu'elle offre de mieux façonner des logiciels à l'image de la pensée humaine;
- à l'attribution d'une priorité élevée aux divers secteurs de recherche dont les travaux sont pertinents à une informatisation de la capacité de comprendre le français en tant que "langue naturelle";

- au besoin de mise en place à brève échéance d'un comité capable d'évaluer une hypothèse spécifique de plan de recherche tablant beaucoup sur le logiciel Déredec et basé sur cette priorité à la compréhension du français.

Une limite de notre document est la faible attention apportée à l'un des grands champs de recherche en intelligence artificielle par rapport à son importance réelle: celui de la perception, particulièrement lié à la robotique. Or, le Centre de recherche en informatique de Montréal est particulièrement fort dans la "reconnaissance de formes" justement. Mon but n'est cependant pas de viser à affaiblir ce secteur pour favoriser ceux que je connais mieux. Mon but est plutôt de suggérer un autre domaine particulier d'excellence dans la recherche de pointe en informatique au Québec. D'ailleurs, la complémentarité peut être tellement grande entre les divers secteurs de recherche en intelligence artificielle qu'il n'y a pas lieu de les mettre en opposition de façon indue. Tenant compte de l'évolution des logiciels de plus en plus intercommunicants et combinables, notre hypothèse de plan de recherche part de la "compréhension de la langue naturelle" mais s'élargit aux nombreuses questions intercurrentes dans les divers champs de recherche en intelligence artificielle.

Nous avons par ailleurs souligné le besoin de faire mieux connaître les concepts et outils d'intelligence artificielle dans la plupart des champs de savoir, y compris dans les sciences humaines et sociales. Les structures de représentation et de manipulation des connaissances qui peuvent être traitées par informatique influencent d'ailleurs déjà la constitution même des nouvelles connaissances dans un nombre croissant de disciplines. L'intelligence artificielle a un important rôle à jouer dans l'évolution scientifique en dehors du domaine de l'informatique traditionnelle.

Quelque réserve que je puisse avoir sur la conduite des relations Québec-Ottawa, j'ai cru utile de préparer ce rapport pour contribuer à affirmer une compétence et une identité québécoises de la recherche en intelligence artificielle. Ce domaine porteur d'avenir doit faire l'ob-

jet de plus d'attention au Québec afin de résister au toujours menaçant rouleau-compresseur de la collaboration pan-canadienne. Pour le président de l'Institut de recherches politiques, Gordon Robertson, la domination actuelle de la langue anglaise sur l'informatique "[prescrira] presque certainement le recours à l'anglais comme langue d'utilisation générale en informatique" (89). J'ai proposé quelques réflexions pouvant aider à lutter contre l'anglicisation des systèmes automatisés de traitement d'information qui est souvent présentée comme une inéluctable fatalité techno-linguistique.

Mon propos ne visait pas seulement à une "remise en culture" de la langue française dans le monde informatique dont elle a été largement exclue jusqu'à présent, mais également à une "mise en culture" des connaissances dans des logiciels, ce qui peut correspondre à la fois à des préoccupations humaines et économiques. Les enjeux de l'intelligence artificielle pour le Québec sont largement culturels et l'articulation proposée ici sur cette base permet en outre de bien se situer par rapport au marché mondial.

REFERENCES

(1) Pierre MORVAN et al. Dictionnaire de l'informatique. Librairie Larousse. Paris. 1981. P. 160.

(2) Jean GOULET. Les répercussions culturelles de l'informatisation au Québec. Dossiers du Conseil de la langue française, no 12. Éditeur officiel du Québec. 1982.

(3) Neil FRUDE. The Intimate Machine. Close Encounters with Computers and Robots. New American Library. New York. 1983.

(4) Geoff SIMONS. Are Computers Alive? Evolution and New Life Forms. Birkhaüser. Boston. 1983.

(5) Joseph WEIZENBAUM. Computer Power and Human Reason: from Judgment to Calculation. Freeman, San Francisco. 1976.

(6) Elaine RICH. Artificial Intelligence. Mc Graw Hill, New York. 1983. Pp. 16-18.

(7) Charles PERRATON, Bernard SCHIELE. "Virage ou dérapage technologique". Le Devoir. 30 septembre 1983, p. 7.

(8) MORVAN, op. cit. loc. cit.

(9) RICH, op. cit. pp. 1-3.

(10) P.H. WINSTON, R.H. BROWN. Artificial Intelligence: an MIT perspective. Vol. 1, MIT Press, Cambridge, Mass. 1979. Pp. 1-4.

(11) MORVAN (note 1), op. cit. p. 7 et p. 133.

(12) RICH (note 6), op. cit. pp. 389-408.

(13) A. NEWELL, H.A. SIMON. "Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search". Communications of the ACM, Vol. 19, no 3, mars 1976.

(14) R.S. MICHALSKI, J.G. CARBONNELL, T.M. MITCHELL (éd.) Machine learning. An Artificial Intelligence Approach. Tioga Publishing Co., Palo Alto, California. 1983. Pp. 14-16.

(15) RICH, op. cit. p. 17.

(16) WINSTON, op. cit. p. 1-4.

(17) Jean PIAGET. Le structuralisme. Paris, P.U.F., 1968. Pp. 52-57.

(18) Umberto ECO. La structure absente. Introduction à la recherche sémiotique. (Traduction), Paris. Mercure de France, 1972. Pp. 49-51.

(19) Carl G. JUNG. 'Ma vie'. (Traduction), Paris, Gallimard, 1966. Pp. 399-401.

(20) Herbert A. SIMON. Dans MICHALSKI, op. cit. pp. 25-37.

(21) MICHALSKI, op. cit. pp. 3-4.

(22) Margaret BODEN. Artificial Intelligence and Natural Man. Basic Books, New York. 1977.

(23) Frederick HAYES-ROTH, Donald A. WATERMAN, Douglas B. LENAT. (éd.). Building Expert Systems. Addison-Wesley, Reading, Massachussets. 1983. Pp. 59-86.

(24) RICH, op. cit. pp. 25-31.

(25) RICH, op. cit. pp. 25-284.

(26) RICH, op. cit. pp. 295-388.

(27) MICHALSKI, op. cit. pp. 8-11.

(28) Tom MANUEL & Stephen EVANCZUK. "Artificial Intelligence. Commercial products begin to emerge from decades of research. Expert and natural language systems herald what could be a tidal wave". Electronics, 3 nov. 1983, pp. 127-131.

(29) Edward A. FEIGENBAUM, & Pamela McCORDUCK. The Fifth Generation. Artificial Intelligence and Japan's Computer Challenge to the World. Addison-Wesley, Don Mills, Ontario. 1983.

(30) RICH, op. cit. Pp. 284-290.

(31) Mark STEFIF et al. "Basic concepts for building expert systems". Chap. 3 dans HAYES-ROTH, op. cit., pp. 59-86.

(32) FEIGENBAUM, op. cit. pp. 244-250.

(33) HAYES-ROTH, op. cit.

(34) HAYES-ROTH, op. cit., p. 17.

(35) Marie-Odile CORDIER. "Les systèmes experts". La Recherche. Vol. 15. No 151. Janvier 1984. Pp. 60-70.

(36) HAYES-ROTH, op. cit., chap. 9.

(37) Avron BARR & Edward A. FEIGENBAUM. The Handbook of Artificial Intelligence. Vol. I, chap. 4, "Understanding Natural Language", pp. 225-321.

(38) Stephen EVANCZUK & Tom MANUEL. "Artificial Intelligence. Practical systems use natural language and store human expertise". Electronics, 1 déc. 1983. Pp. 139-145.

(39) G.G. HENDRIX & W.H. LEWIS. "Transportable Natural-Language Interfaces to Databases", in Proc. 19th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 1981.

(40) Richard L. NOLAN. Managing the Data Resource Function, second edition. West Publishing Co., New York, 1982.

(41) MORVAN (note 1), pp. 45-50.

(42) BARR & FEIGENBAUM, op. cit., vol. 2, "Artificial Intelligence in Database Management", pp. 163-173.

(43) EVANCZUK & MANUEL, op. cit.

(44) idem

(45) BARR & FEIGENBAUM, op. cit., vol. 1, chap. 5, "Understanding Spoken Language". Pp. 323-361.

(46) Newsweek. "The race to build a supercomputer". 4 juillet 1983, pp. 58-64.

(47) Andrew POLLACK. "Washington formulates a computer agenda. Two-track program includes number-crunchers and 'thinking' machines". New York Times. 12 octobre 1983.

(48) Agence France Presse. "Des ordinateurs qui voient, entendent, parlent et pensent. Ambitieux programme du Pentagone". Le Devoir, 7 novembre 1983, p. 1.

(49) The Economist. "Marching forward. A survey of defense technology". 21 mai 1983, section spéciale.

(50) Québec Science. "Les robots conscrits". Mars 1984. P. 13.

(51) Newsweek, loc. cit. (voir no 46).

(52) The Economist. "The new entrepreneurs". 24 décembre 1983. Pp. 61-73. Voir en particulier pp. 65-66: "Buy a university's ideas and steal a big firm's best people".

(54) Stanford University. Annuaire des cours gradués pour 1983-84.

(55) The Economist, loc. cit. (voir no 52).

(56) Tom MANUEL. "Artificial intelligence. LISP and PROLOG machines are proliferating". Electronics, nov. 3, 1983, pp. 132-137.

(57) Business Week. "Software: the new driving force". Special report, pp. 74-98. Voir en particulier p. 96, "Japan's push to write 'world-class' software". Voir également The Economist, April 7, 1984, p. 73: "Japanese-American Trade: Barnyard Noises".

(58) The Economist, "European Community. The spirit moves at last". 3 mars 1984, pp. 51-52.

(59) Le Monde Diplomatique, "Le programme ESPRIT". Décembre 1983, p. 6.

(60) Gérald BARIL. "ESPRIT: un départ difficile". Québec Science, mars 1984, p. 61.

(61) The Economist, loc. cit. (voir no 58).

(62) The Economist, loc. cit. (voir no 52).

(63) The Economist. "British R & D policy". 9 juillet 1983. Pp. 84-85.

(64) MANUEL & EVANCZUK, loc. cit. (voir no 28).

(65) La Recherche, no 152, février 1984, page 153.

(66) MORVAN, op. cit. (voir no 1).

(67) CORDIER, op. cit. (voir no 35).

(68) MANUEL & EVANCZUK, loc. cit. (voir no 28).

(69) The Economist. "Magyarsoft". 19 novembre 1983, p. 86.

(70) EVANCZUK & MANUEL. op. cit. (voir no 38).

(71) Lise Bissonnette. "Pour une stratégie". Le Devoir, 24 avril 1984, p. 8.

(72) John HEWER. "Canada lagging behind in artificial intelligence race". The Financial Post, special report, Spring, 1984, p. C6.

(73) Gordon McCALLA & Nick CERCONE. DSCSI/CSEIO. Directions for Canadian Artificial Intelligence. Canadian Society for the Computational Studies of Intelligence. 27 february 1984.

(74) Conseil des sciences du Canada. L'Atelier sur l'intelligence artificielle. Min. des Approvisionnements et Services, Octobre 1983.

(75) Eric G. MANNING et al., "Canadian Society for Fifth Generation Research. Step One: Request for Preliminary Proposals". May 16, 1984. Miméo.

(76) Interface. Mars-avril 1984. P. 42. "Universités: Québec dévoile un nouveau plan d'aide". ACFAS. Montréal.

(77) Conseil des Universités. "Avis du Conseil des universités au ministre de l'Education sur la demande de subvention présentée, au titre du programme d'actions structurantes du MEQ, en vue de la création d'un Centre interuniversitaire de recherche en informatique dans la région montréalaise". Avis no 83.14. Sainte-Foy. 23 février 1984.

(78) Centre de Recherche Informatique de Montréal Inc. "Objectifs, priorités en recherche et plan de développement". Montréal, le 20 décembre 1983.

(79) "Paramax établira son siège permanent dans la Cité scientifique de Montréal". Le Devoir, 27 mars 1984. P. 13.

(80) Jean-Paul GAGNE. "Cablevision Nationale paiera ses arrérages de dividendes d'ici 12 mois". Les Affaires. 3 septembre 1983. P. 19.

(81) Gilles PROVOST. "Silicart veut damer le pion aux grands fabricants de puces". Le Devoir, 3 février 1984. P. 12.

(82) Secrétariat permanent des conférences socio-économiques du Québec. La révolution informatique: subir ou choisir. Etat de la situation (projet). 24 novembre 1983.

(83) "La maîtrise stratégique des filières". Chap. 14 dans Sciences et techniques, no spécial, octobre 1983. Rapport sur l'état de la technique. La révolution de l'intelligence. Paris.

(84) Pierre BARNARD. "Les crédits d'impôts à la recherche et au développement ont été l'objet de modifications majeures depuis quelque temps. Le Devoir, 18 avril 1984. P. 14.

(85) Rudy LE COURS. "Le français ne prend pas le virage technologique". Le Devoir, 30 avril 1984. P. 9.

(86) Richard PARENT. "L'informatisation du bureau: pistes de recherche pour l'intelligence artificielle". Congrès de l'Association de recherche en communication du Québec. Avril 1984.

(87) John HEWER. Loc. cit. (voir no 72).

(88) Pierre ISABELLE. "La traduction automatisée: état des travaux". Présentation au 52e Congrès de l'ACFAS, colloque de "Recherches québécoises en intelligence artificielle sur le français". 11 mai 1984, Université Laval. Québec.

(89) L'Institut. Publication de l'Institut de recherches politiques. Avril-mai 1984, vol. 6, no 2, p. 1.

Annexe 1

EQUIVALENCES (anglais-français) DE QUELQUES TERMES

back-tracking	retour en arrière
back-up procedure	procédure de secours
best-first analysis	analyse selon le meilleur d'abord
block diagram	schéma fonctionnel
bottom-up	vers le haut, ascendant
branch point	noeud de branchement
breadth-first analysis	analyse selon l'étendue d'abord
buffer	tampon
certainty factor	facteur de certitude, de vraisemblance
chaining	chaînage, enchaînement
cluster	grappe
combinatorial logic	logique combinatoire
compiler	compilateur
critical path	chemin ou voie critique
DBMS: Database management system	SGBD: système de gestion de base de données
data capture	saisie de données
debugging	correction (rare: déverminage)
depht-first analysis	analyse en profondeur d'abord
directed graph	graphe orienté
distributed database	base de données réparties
frames	cadres
generate-and-test	génère et teste
inference engine	moteur d'inférences
hill-climbing	escalade
label	étiquette
mapping	mise en correspondance
matching	recherche d'équivalence
measure of belief	mesure de croyance
measure of disbelief	mesure de doute
parallel processing	traitement en parallèle
partition	segmentation

pattern recognition	reconnaissance de formes
problem solving	résolution de problème
pushdown acceptor	automate à pile ("stack"), dernier entré, premier sorti
query language	langage d'interrogation
search	recherche (cheminement de quête)
top-down	vers le bas, descendant
tree searching	recherche dans un arbre
tree structure	arborescence, structure en arbre
trouble	perturbation
weak methods	méthodes faibles (parce que d'application générale, peu spécifique)
remote sensing	télé-mesure, télé-observation
well formed formulas	formules bien formées

Annexe 2

LISTE DESCRIPTIVE DE PROGRAMMES D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PAR ORDRE ALPHABETIQUE DES SIGLES OU AUTRES FORMES DE NOM ABREGE

(lieu de développement, type de programme, grandes caractéristiques)

ABEL: M.I.T., expert en diagnostique des problèmes d'acidité.

ACE: laboratoires Bell de AT&T, expert pour gérer l'entretien et la réparation des câbles téléphoniques. En usage, mais non commercialisé.

ADA TUTOR: Computer Thought Corp. (Texas), enseignement de la programmation en ADA. Commercialisé.

AGE: Université Stanford, langage de construction de systèmes experts.

AIRPLAN: Carnegie-Mellon (Pittsburg), expert pour gérer départs et retours des avions sur navire et déplacements de l'avion dans son environnement aérien. Fait en OPS.

ALPS: Alps Inc. (Utah), système interactif d'aide à la traduction. Commercialisé.

AL-X: Intelligent Terminals Inc., outil de construction de système expert de diagnostique basé sur le design de PROSPECTOR. Commercialisé.

ART: ("A Reasoning Tool") Inference Corp. (Los Angeles), outil de développement de systèmes experts. Commercialisé.

ASK: ("A Simple Knowledgeable System") California Institute of Technology, interface intelligente pour base de données relationnelles sur un appareil individuel de bureautique (HP9836) Expérimental.

CADUCEUS: Université de Pittsburgh, expert pour diagnostique en médecine interne.

CALLISTO: Robotics Institute de Carnegie-Mellon (Pittsburgh), expert dans l'organisation, la supervision, la programmation et la gestion de grands projets manufacturiers.

CASNET: Université Rutgers (New Jersey), système d'évaluation des traitements pour le glaucome, une maladie de l'oeil.

CATS-1: General Electric (Schenectady, New York), système de localisation des perturbations et de diagnostique sur les locomoti-

ves diésel/électriques. Construit à l'aide de GEN-X. Commercialisé.

COOP: Université Stanford et IBM, système de diagnostique des perturbations dans un système informatique. Utilisé par les ingénieurs d'IBM dans le service à la clientèle.

DENDRAL: Université Stanford, précurseur des systèmes experts à la fin des années soixante, sous la direction d'Edward Feigenbaum. Analyse la spectrométrie de masse des molécules organiques dans l'industrie chimique. En usage, mais non commercialisé.

DEREDEC: UQAM, système de décomposition grammaticale du français orienté sur l'assistance à l'analyse de contenu. En usage, mais non commercialisé.

DIPMETER ADVISOR: Schlumberger Inc. (Paris), expert dans l'analyse des données lors du forage et de l'exploitation des puits de pétrole. En usage expérimental dans la firme.

DRILLING ADVISOR: Teknowledge (Palo Alto, Calif.) pour Elf-Aquitaine (France), expert dans le diagnostique et la correction/prévention des perturbations lors du forage des puits de pétrole. Bâti avec KS-300. En usage expérimental chez Elf-Aquitaine.

EMYCIN: Univeristé Stanford, basé sur MYCIN, offre un outil de construction d'un système expert en diagnostique. A servi à développer PUFF, SACON, et d'autres.

EPISTLE: IBM, expert pour traitement de texte en anglais, recherche en cours.

EURISKO: Université Stanford, système capable d'apprendre par découverte dans la conception de nouveaux circuits électroniques tridimensionnels. En usage de façon expérimentale.

EXPERT: Université Rutgers, outil de développement de systèmes experts grâce au moteur d'inférences extrait de CASNET, bon pour domaines avec problèmes de classification (exploration minière, applications médicales).

EXPERT EASE: Université d'Edimbourg, système basé sur l'apprentissage par les exemples, permet de construire des systèmes experts miniatures sur une IBM-PC. Vendu 2 000 $ américains, par Export Software International Ltd.

EXPLORER: Cognitive Systems Inc., interface en anglais pour programme de géologie.

GENESIS: Intelligenetics Inc., expert dans l'analyse et la synthèse des structures d'ADN. Commercialisé.

GEN-X: General Electric Co., outil de développement d'un système expert.

GUIDON: Université Stanford, programme pour l'enseignement qui adapte son questionnement au progrès de l'enseigné. En usage expérimental.

GUS: Interface experte en anglais pour les réservations de transport par avion.

HAM-ANS: Université d'Hambourg. Interface experte en allemand pour SGBD.

HASP/SIAP: Université Stanford et System Control Technology Inc., expert dans l'identification et la surveillance de navires à des fins militaires.

HAWKEYE: Stanford Research Institute International, expert en interprétation de photographies aériennes.

HEARSAY: Outil de construction de système expert, apte à combiner plusieurs sources de savoir.

HYDRO: Stanford Research Institute International, expert dans gestion de la ressource-eau.

INDUCE/PLANT: Université d'Illinois, expert en diagnostique des maladies affectant les fèves de soya. Expérimental.

INTELLECT: Artificial Intelligence Corporation (Waltham, Mass.), interface en anglais pour SGBD sur ordinateurs IBM. Commercialisé.

IPP: Université Yale, expert dans l'interprétation d'éléments d'actualité sur le terrorisme. Recherche en cours.

ISIS: Robotics Institute de Carnegie-Mellon (Pittsburg), programme de gestion horaire des activités dans un atelier de fabrication.

KAS: Stanford Research Institute International, moteur d'inférence extrait de PROSPECTOR, outil de construction de système expert.

KBVLSI: Université Stanford et Xérox, expert en conception microélectronique. En usage expérimental.

KEE et KEPE: Intelligenetics Inc. (Calif.), outil de développement de système expert. Commercialisé.

KLAUS: Stanford Research Institute International, interface en anglais pour SGBD.

KM-1; System Development Corp., interface experte en anglais pour SGBD.

KS-300: Teknowledge Inc., outil de construction de système expert pour le diagnostic et le conseil. Commercialisé.

LADDER: Stanford Research Institute International, interface en anglais pour SGBD.

LDS: Rand Corp., expert en réclamation auprès des compagnies d'assurance.

LIFER: Stanford Research Institute International, interface en anglais pour SGBD.

LOGOS: Logos Computer System Inc. (Waltham, Mass.), aide à la traduction entre l'anglais et l'allemand. Commercialisé pour micro-ordinateur Wang.

LOOPS: Xérox, outil de développement de système expert, basé sur KBVLSI.

LUNAR: Bolt, Beranek & Newman (Cambridge, Mass.), précurseur au début des années soixante-dix, interface en anglais experte dans le domaine de la géologie.

MACSYMA: MIT, fin des années soixante, précurseur expérimental en mathématique des systèmes experts.

MARGIE: Université Stanford, vers 1975, système expérimental de traitement linguistique basé sur la dépendance conceptuelle.

MOLGEN: Université Stanford, expert en biologie moléculaire.

MRS: Université Stanford, outil de construction de système expert.

MYCIN: Université Stanford, expert médical en infections sanguines.

NATURAL LINK: Texas Instruments Inc. (Dallas), interface en anglais avec menus pour SGBD. Commercialisé.

ONCOCIN: Université Stanford, expert médical en traitement chimiothérapeutique du cancer.

OPS5: Université Carnegie-Mellon (Pittsburg), outil de développement de SE, commercialisé par Vera Inc. (San Diego).

PEARL: Cognitive Systems Inc., outil de développement d'interface en anglais pour systèmes experts. Commercialisé.

PROGRAMMER'S APPRENTICE: MIT, outil d'aide à la création et au déverminage d'un logiciel.

PROSPECTOR: Stanford Research Institute International, expert en exploration minière. En usage expérimental.

PSI: Kestrel Institute et Systems Control Technology, compose des programmes simples à partir de la description en anglais de la tâche à exécuter.

PUFF: Université Stanford, expert en diagnostique des maladies pulmonaires, bâti à l'aide d'EMYCIN.

QUIST: Interface pour l'optimisation des requêtes en anglais aux SGBD.

RABBIT: Xérox, aide l'usager d'une base de données à formuler sa requête.

RLL: Langage de développement de système expert.

ROSIE: Rand Corp., langage de développement de système expert.

R1: Université Carnegie-Mellon et Digital Equipment Corp. (DEC), expert en conception des circuits électroniques pour ordinateurs VAX. Bâti avec OPS.

SACON: Université Stanford, aide les ingénieurs à utiliser un progiciel complexe d'analyse des structures.

SAGE: SPL International, outil de construction de système expert. Commercialisé.

SAVVY: Excalibur Technologies Corp. (Albuquerque, Montana), interface simple en anglais pour Apple II et IBM-PC. Commercialisé.

SDM: Outil de construction sémantique d'un SGBD.

SECS: Université de Californie à Santa Cruz, expert en analyse des molécules organiques dans l'industrie chimique. En usage.

SHRDLU: MIT (Winograd, en 1972). Importance théorique.

SPEAR: Digital Equipment Corp. (DEC), expert en diagnostique dans un système informatique. Utilisé par les ingénieurs de DEC dans le service à la clientèle.

STRAIGHT TALK: Dictaphone Corp. (Rye, New York), interface en anglais pour ordinateurs personnels. Commercialisé.

SUPERNATURAL: Hemel Hemstead Corp. (Hertfordshire, Angleterre) pour Microdata Inc. (Calif.), interface en anglais pour les bases de données de Microdata dans son service aux bureaux et manufactures.

SMP: ("Symbolic Manipulation Program"), Inference Corp. (Culver City, Calif.), résout les expressions mathématiques. Commercialisé.

TANGO: Laboratoire de recherche informatique d'Orsay (France), adapte son questionnement au progrès de l'étudiant en "calcul des primitives". Expérimental.

TATR: Rand Corp. et U.S. Air Force, bâti avec ROSIE, expert pour atteinte d'une cible aérienne.

TAUM: Traduction automatique, Université de Montréal, fin des années soixante-dix. En usage à Dorval. Traduit de l'anglais au français en météo.

TAXIS: Université de Toronto, outil de construction sémantique de SGBD.

TAXMAN: Université Rutgers (New Jersey), expert dans le conseil fiscal aux entreprises américaines.

TEAM: Stanford Research Institute International, mécanisme d'accès à SGBD capable d'apprendre un domaine. Recherche en cours.

TED: Université Stanford, création d'une interface en anglais à partir du cadre sémantique d'une base de données.

TEIRESIAS: Université Stanford, outil dans le développement d'un système expert pour introduire ou modifier des règles.

THEMIS: Frey Associates Inc. (Amherst, N.H.), interface en anglais pour SGBD sur ordinateurs VAX de DEC.

UNITS: Université Stanford, outil de développement de système expert. En combinaison avec AGE, a servi à construire MOLGEN.

VM: Université Stanford, supervise les patients en soins intensifs et propose des correctifs pour aider la respiration.

WAVES: Teknowledge Inc., bâti avec KS-300, expert-conseil auprès des ingénieurs du pétrole dans l'analyse et l'interprétation des données séismographiques.

WEIDNER SYSTEM: Weidner Communication Corp. (Provo, Utah), aide à la traduction. Commercialisé.

XCON et XSEL: Carnegie-Mellon (Pittsburg) et Digital Equipment Corp. (DEC), expert en conception des circuits électroniques des ordinateurs VAX. En usage chez DEC, XCON en manufacture, et XSEL pour les vendeurs.

ZERO +: Laboratoire de recherche informatique (Orsay, France), outil de construction de système expert.